

**Untersuchungen über die an Zahn-
schliffen zu beobachtende optische
Inhomogenität des menschlichen
Dentins**

Erhard Azeroth

1960

**Untersuchungen über die an Zahn-
schliffen zu beobachtende optische
Inhomogenität des menschlichen
Dentins**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der Zahnheilkunde
verfaßt und
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Erhard Azeroth
Cloonlara County Clare, Irland

München 1961

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Priv. Doz. Dr. Dr. W. KETTERL

Mitberichterstatter: Professor Dr. Dr. SCHUG-KÖSTERS

Dekan: Professor Dr. W. SEITZ

Tag der mündlichen Prüfung: 10.10.61



Meinen lieben Eltern in herzlicher Dankbarkeit
gewidmet.

An dieser Stelle möchte ich mich auch besonders
bedanken bei Frau Prof. Dr. Dr. SCHUG-KÖSTERS
für die mir gegebene Möglichkeit die Arbeit auszu-
führen und für alle Unterstützung, die ich von ihr
und besonders auch von Herm Priv. Doz.
Dr. Dr. KETTERL empfangen habe.

Principium sapientiae timor Domini;
et scientia sanctorum, prudentia.
Spr. Salom. 9, 10.

INHALTS ÜBERSICHT

Seite

I. PROBLEMSTELLUNG

Auftreten dunkler und heller, transparenter Dentinpartien an den Schliffen im Gegensatz zu den Schnitten entkalk- ter Zähne	7
---	---

II. LITERATUR

a) Trübe Schwellung	7
b) Verfettung	7
c) Verkalkung	10
d) Analogie zur Karies	16

III. EIGENE UNTERSUCHUNGEN

A. Makroskopische Beobachtungen	17
---------------------------------------	----

1) Auftreten der optischen Inhomogenität an:	
a) Kariesfreien, in Funktion stehenden Zähnen	17
b) Kariesfreien, nicht in Funktion stehenden Zähnen	20
c) Abradierten Zähnen	20
d) Kariesfreien, jugendlichen oberen Prämolaren	20
2) Zusammenhang der Lokalisation und der Ausdehnung der im Schliff dunklen Zahnbeinpartien mit dem Alter und der Funktionsbelastung der Zähne	21
3) Untersuchungen zur Frage der Deutung der sich im Schliff dunkel darstellenden Zahnbeinpartien	25
a) Einfluss der histologischen Verarbeitung	25
Fixation	25
Schleifprozess	26
Einbettung (Luft, Kanada-Balsam, Glycerin-Gelatine) ..	26
Vakuumeinbettung	26
b) Fett- und Eiweissfärbungen	27
Sudan III	
Scharlachrot	
Osmium	
Nilblau	
Amidoschwarz	

B. Mikroskopische Beobachtungen	30
---------------------------------------	----

- 1) Beschreibung der feineren Struktur der Dentinkanälchen
im Bereich der sich dunkel darstellenden Dentinpartien
- 2) Veränderungen dieser Strukturen bei Verwendung verschie-
dener Einbettungs- und Verarbeitungsmethoden

- 3) Veränderungen dieser Strukturen bei Verwendung verschiedener Färbemethoden (Nilblau, Amidoschwarz, Sudan, Scharlach)

IV. DISKUSSION DER ERGEBNISSE	37
V. ZUSAMMENFASSUNG	43
VI. LITERATURVERZEICHNIS	45

I. PROBLEMSTELLUNG

Bei der Betrachtung eines Zahnschliffes fällt im Vergleich mit einem Schnitt durch einen entkalkten Zahn die unterschiedliche Zeichnung des Dentins auf. In unregelmässigen Formen wechseln im Bereich des Zahnbeins helle und dunkle Partien einander ab. Bei FURRER finden sich in der Aufteilung des kariösen Dentins in Zonen Hinweise auf dieses Phänomen. SCHEFF und HÄUPL (3 u. 1) haben sich speziell mit den Strukturveränderungen im kariösen Dentin befasst. Sie deuten an, dass auch bei kariesfreien, abradierten Zähnen ähnliche Strukturveränderungen im Dentin wie bei der Karies zu finden sind. Die vorliegende Arbeit befasst sich speziell mit den Veränderungen im Dentin ausserhalb kariöser Defekte.

II. LITERATUR

Folgende pathologische Veränderungen am Dentin werden in der Literatur erwähnt: Trübe Schwellung, Verfettung, Verkalkung.

a) Trübe Schwellung.

HÄUPL (1) erwähnt im Zusammenhang mit dem Zahnbein die trübe Schwellung und zwar unter dem Begriff der 'regressiven Metamorphosen'. Er versteht darunter eine Stoffwechselstörung im Bereich der Odontoblastenfortsätze, bedingt in der Regel durch Karies. Was den zeitlichen Ablauf von trüber Schwellung und Verkalkung betrifft, so meint HÄUPL (1),: "dass die toxisch bedingte Störung des Eiweisstoffwechsels erst später, nach der Entkalkung des Dentins (beim kariösen Process) entsteht. Dabei ist die Tomessche Faser angeschwollen und füllt häufig das ganze Lumen des Dentinkanälchens aus. An die trübe Schwellung schliesst sich dann der Zerfall des Odontoblastenfortsatzes an."

EULER und MEYER (2) drücken sich wesentlich unbestimmter aus, wenn sie schreiben: "Bei der Subtilität des Gebildes ist schwer zu sagen und ebenso schwer bildlich darzustellen, wie weit als erster Ausdruck der Stoffwechselstörung in den Odontoblastenfortsätzen eine trübe Schwellung eintritt, um so leichter kann aber die Zunahme der Störung im Mikroskop erfasst werden, soweit sie sich in Fett-speicherung und Kalksalzniederschlägen äussert."

b) Die Verfettung.

Das zweite Ereignis in den von HÄUPL (1) beschriebenen 'regressiven Metamorphosen' an den Tomesschen Fasern ist die Verfettung oder nach R. WEBER (10) allgemeiner ausgedrückt: 'das Auftreten von Fett am Zahn'.

WEBER (10) stützt seine Aussagen auf die Untersuchungen von rund 100 Zähnen aller Altersstufen. Danach findet sich Fett in den Odontoblastenfortsätzen in

fast allen Fällen in kurzer Entfernung von der Grenze zwischen verkalktem Zahnbein und dentinogener Zone. "Die Verfettung nimmt im Durchschnitt ein Fünftel bis ein Viertel des Dentinkerns ein." Sie ist jedoch nicht gleichmässig über den ganzen Zahn verteilt. In der Hauptsache beschränkt sie sich auf die Krone und die koronalen Wurzelabschnitte. Das apikale Drittel ist gewöhnlich nur gering beteiligt oder ganz frei von Fett. Die Stärke der Verfettung ins Verhältnis gesetzt zum Alter des Zahnes, lässt keine Schemabildung zu: "denn es finden sich sowohl jugendliche Zähne stark bzw. schwach verfettet, gleichgültig ob sie in Funktion gestanden haben oder nicht, als auch Zähne Erwachsener mit den gleichen Erscheinungen." Es entsteht allerdings der ziemlich sichere Eindruck, dass alte Zähne weniger Fett zeigen als jugendliche. Dies gilt für die Verfettung der Odontoblastenfortsätze, welche unabhängig ist von der der Odontoblasten.

Über die Natur der bisher besprochenen Verfettung am intakten Zahn sagt R. WEBER (10) folgendes: "Wir sind nur dann berechtigt von der Verfettung als von einem degenerativen Vorgang zu sprechen, wenn auch sonst im Gewebe regressive Veränderungen vorliegen. Soweit wir sehen können, ist die Verfettung der Odontoblastenfortsätze immer eher vorhanden, als die Degeneration des Pulpenstromas. Wir können daher das Auftreten von Fett in den Odontoblastenfortsätzen, vor allem der jugendlichen Zähne, nicht als regressive Metamorphose deuten."

Die offensichtliche Häufung des Fettes in den Zahnkronen erklärt WEBER mit der zunehmenden und früheren Verkalkung der Dentinkanälchen in den Wurzeln. Die Ausbreitung der Verfettung bei den jugendlichen Zähnen auch auf die peripheren Abschnitte der Odontoblastenfortsätze gegenüber einer stärkeren Konzentration des Fettes im pulpennahen Teil bei älteren Zähnen, hat ihre Ursache in der von peripher nach innen fortschreitenden Verkalkung der Dentinkanälchen. Ausserdem stellt er fest, dass Zähne, die dauernd ausser Funktion stehen und solche die retiniert sind, schon in wesentlich früherem Alter ein Auftreten von Fett zeigen.

Die positive Fettreaktion in den Odontoblastenfortsätzen bei Karies ist nach WEBER nicht durchaus gleichartig zu werten. Vielmehr sind in Verbreitung und Genese wichtige Unterschiede festzustellen: "Die Zahnbeinfasern in der Peripherie des Karieskegels sind in grösserer Breite und dann sehr häufig bis an die Pulpadecke heran verfettet, wobei zu erwähnen ist, dass die Verfettung fleckförmig erfolgt mit Aussparung kleiner, nicht betroffener Partien." "Die Ursache der Verfettung der Odontoblastenfortsätze bei Karies liegt bei folgendem: Die durch die Karies und ihre Bakterien gelieferten Abbauprodukte und Toxine, die pulpawärts diffundieren, rufen eine Zellschädigung der Odontoblastenfortsätze hervor, durch die das angebotene Fett nicht mehr verarbeitet und in grösserem Umfange sichtbar wird (degenerative Fettinfiltration). Die Verfettung der Odontoblastenfortsätze von Zähnen, die Jahre vor der Untersuchung wurzelbehandelt wurden, bedeutet, dass das intra vitam gespeicherte Fett postmortal nicht weiter abgebaut werden kann und liegen bleiben muss."

Die positive Fettfärbung in den längst erweichten kariösen Zonen des Dentins hält WEBER nicht für eine degenerative Fettinfiltration, sondern sieht darin Fäulnisfette.

EULER und MEYER (2) fassen R. WEBERs Arbeit dahingehend zusammen, dass Fettspeicherung in den Zahnbeinfasern aus verschiedenen Gründen, bei Karies aber konstant auftritt. In der Folge stellen sie die zeitliche Reihenfolge der pathologischen Entwicklung 'Verfettung - Verkalkung' in Frage, obwohl manche Bilder deutlich darauf hinweisen. Ferner beschäftigen sie sich mit den dunkler erscheinenden Kanälchenabschnitten, die neben kariösen Herden und ihrem transparenten Kegel in Zahnschliffen auftreten. Diese werden vielfach für Luft einschüsse bei der Präparatherstellung gehalten. Sie zeigen dagegen an Hand von Vergleichen analoger Kariesverhältnisse bei Schliffen und Schnitten, dass die gelben, fettreichen Zonen der gefärbten Schnitte eindeutig den dunklen Kanälchenabschnitten auf den Schliffen entsprechen.

Gänzlich andere Gesichtspunkte zu dem Thema 'Kalk und Fett in den Dentinkanälchen' bringt eine Arbeit von C. KRÜGER (11). Sie stützt sich auf Versuche von GRÄFF und stellt dann die Arbeiten anderer Autoren zur Diskussion. Die Experimente gelten den körnigen und fädigen bakterienähnlichen Gebilden in den Dentinkanälchen. Ein Schnittpräparat lässt keine Unterscheidung zu, ob es sich dabei um Kalkablagerungen oder tatsächlich wie EULER u. a. behaupten, um Bakterien handelt. Nach GRÄFF sind es Kalksalze die durch die Säuren des kariösen Prozesses in Lösung gegangen und in den Dentinkanälchen ausgefallen sind. Seine Versuche verliefen wie folgt: In eine künstliche Kavität brachte er Salzsäure bzw. Milchsäure unter sterilen Kautelen ein. Das Ergebnis waren körnige und stäbchenförmige blaue Gebilde in den Kanälchen. Daraus folgerte er, dass es sich um Kalk handelt, der von der Säure gelöst und durch den Saftstrom in den Kanälchen pulpawärts befördert und in weniger saurem Milieu abgelagert worden ist. Die Dentinkanälchen sind also Transportleitungen, Leitungsbahnen für den Zu- und Abfluss irgendwelcher Substanzen normalen oder regelwidrigen Stoffwechsels zwischen Schmelz, Dentin und Pulpa.

Dann bearbeitet er das Thema 'Fett in den Kanälchen'. Es handelt sich nach GRÄFF nicht um eine fettige Degeneration, sondern um 'Transportfett', das: "entweder auf dem Blutwege der Pulpa zugeführt und von hier in die Kanälchen weitergeleitet sein müsse oder der Faser von aussen bei oberflächlich durchlässiger Zahnhartsubstanz zugeführt wurde, also der Nahrung entstammen müsse."

Im Anschluss daran führt er die einzelnen Autoren auf mit ihren Ansichten über die Herkunft des Fettes in den Dentinkanälchen. Es sind: AKAMATSU, ONASHI, NAKAMURA, BREMER, KOKUBUN und WILLNER.

AKAMATSU, ein Schüler GRÄFFs, sieht Fett im Schmelz und Dentin und nimmt an, dass es von aussen eingepresst wurde. Es wurden folgende Versuche angestellt, die das beweisen sollen: In eine künstliche Kavität wurde 1%iges Scharlachöl unter sterilen Kautelen eingebracht und der Zahn nach 48 Stunden extrahiert. Es fand sich das Öl in den Dentinkanälchen, war also von der Kavität aus

weitergeleitet worden. Um das Argument auszuschliessen, dass die Kavitätenpräparation allein schon Fett in den Zahnbeinfasern erzeugt haben könnte, wurden Gegenversuche durchgeführt. Anstatt Öl wurde Wasser unter gleichen Bedingungen eingebracht. Es zeigte sich keine Rotfärbung.

Also ist das Fett in den Dentinkanälchen von aussen eingepresstes Nahrungsfett.

ONASHI und NAKAMURA halten Fettablagerungen in den Zähnen für den Ausdruck einer Alterserscheinung.

BREMER hält ein rein mechanisches Einpressen durch den Kauakt bei kariösen Zähnen für unwahrscheinlich, bei intaktem Schmelz sogar für ausgeschlossen.

Weiter erwähnt KRÜGER in seiner Arbeit KOKUBUN, der von einer physiologischen Fettspeicherung spricht, d. h. dieser Zustand stelle eine normale Phase des zentrifugal gerichteten Säftestromes der Pulpa und damit ihres Stoffwechsels dar. Diese "transportative" Verfettung der Odontoblastenfortsätze geht nach seiner Meinung in eine Fettretention über. Sie ist als Oxydationsschädigung zu denken und bedeute biologisch eine Herabminderung der funktionellen Leistungsfähigkeit der Odontoblasten.

Nach einer Arbeit von WILLNER handelt es sich bei der Verfettung um eine fettige Degeneration, "wobei ausser den Dentinkanälchen auch die Grundsubstanz verfetten kann." Ausserdem erwähnt KRÜGER noch EULER und MEYER mit ihrer oben aufgeführten Argumentation und fasst beider Ansichten dahingehend zusammen: es handle sich bei der Anreicherung von Fett in den Zahnbeinfasern um eine toxische Störung des Stoffwechsels, verursacht durch die Bakterien und die Abbauprodukte des kariösen Prozesses. Bei WEBER stellt er noch einen anderen Gedanken heraus: "die Verfettung sei letzten Endes abhängig von den Lebensbedingungen der Pulpa, die durch leichte, immer wiederkehrende Traumen oder Noxen eine Zustandsänderung erfahre, durch die das Auftreten von Fett in Form feinsten Stäubchen zustande komme, sich aber noch leichter in einer Verfettung der Odontoblastenfortsätze ausdrücke." WEBER bezeichnet diesen Vorgang als 'regressive Veränderung'.

G. FISCHER (12), der in seiner Schlussfolgerung über die Vorgänge am Zahn am weitesten geht und sie in die organische Gesamtheit des Körpers hineinstellt, sagt dazu folgendes: "Die Odontoblastenzelle kann als Schaltstelle angesehen werden, die im Dienste des vegetativen Nervensystems steht. Mit ihrer Hilfe entsteht ein kanalisiertes, ohne sie aber ein kanallooses, sklerotisches Dentin. Alle Vorgänge am lebenden Zahn werden durch das neuro-vaskuläre System gesteuert. Jeder Zahn ist ein Glied des Ganzen."

c) Die Verkalkung.

Als dritten Zustand der 'regressiven Metamorphosen' nennt HÄUPL (1) die Verkalkung der Tomesschen Faser. Sie gehört in der Geschichte der Erforschung der Pathologie des Zahnbeins zu den ersten Entdeckungen. Man fand sie unter kariösen Defekten und bezeichnete sie als 'Transparenz des Dentins'. Später wur-

de sie auch unter mechanischen Läsionen, z.B. der Abkautung beschrieben. Die Deutung dieser Erscheinung war lange strittig, vor allem ob es sich um eine Vermehrung oder eine Verminderung des Kalkes in der Grundsubstanz des Zahnbeins handele.

Im SCHEFF'schen Handbuch (3) findet sich in einer Abhandlung von C. JUNG (4) eine diesbezügliche Zusammenstellung: "... durch den Reiz beim Abkauen werden die Zahnbeinfasern zu einer Steigerung ihrer physiologischen Tätigkeit angeregt, welche sich in vermehrter Kalksalzablagerung unter entsprechender Einschrumpfung der Zahnbeinfaser dokumentiert Das Zahnbein wird auf diese Weise dichter, gleichmässiger verkalkt und erscheint damit stärker lichtbrechend als das von normalstarken Zahnbeinfasern durchsetzte, welche einen anderen Brechungsexponenten für das Licht haben als die verkalkte Grundsubstanz."

"Genau in gleicher Weise wie der mechanische Reiz bei der Abkautung usw. wirkt bei der beginnenden Karies der chemische Reiz der auf die Zahnbeinfasern andringenden Säuren und finden wir schon bei ganz wenig fortgeschrittener Karies einen Kegel oder Streifen transparenten Dentins bis zur Pulpakammer hin sich erstrecken."

"Im Gegensatz zu dieser, auch von TOMES, MAGITOT (1871), WALKOFF, MILLER (1892) und anderen vertretenen Ansicht, bestreiten WEDL (1870) u.a. dieselbe. LEBER und ROTTENSTEIN (1867), sowie auch SCHLENKER (1882) suchen die Transparenz mit einer partiellen Entkalkung des Zahnbeins zu erklären, nach BAUME und SCHEFF (1884) wird sie hervorgerufen durch die Obliteration der Zahnbeinkanälchen, die durch Aufquellung der Grundsubstanz bedingt sei."

WELLAUER (1892) spricht die Ansicht aus, dass die Transparenz je nach Lage der Dinge auf verschiedene Weise entstehe, entweder durch teilweise Entziehung des Kalkgehaltes der Grundsubstanz oder aber durch teilweise Infiltration der Zahnbeinfasern mit Kalksalzen in Lösung oder endlich durch teilweise oder vollständige Verkalkung der Zahnbeinfasern."

WELLAUER fasst seine Ansicht zusammen: "Dass es sich hierbei" (gemeint sind die 'Reihen glänzender Körner und stäbchenförmiger Gebilde', die besonders bei beginnender Karies zwischen Transparenz und kariösem Gebiet gesehen und als vitale Reaktion der Pulpa gedeutet wurden, von anderen allerdings auch an toten Zähnen beschrieben und heute aus der Diskussion gekommen sind) "und auch bezüglich der Entstehung jenes fast immer nachweisbaren dunkleren Streifens zwischen der transparenten Linie und dem eigentlichen kariösen Dentin um Lösungs-, Diffusions- und Ablagerungsvorgänge der Kalksalze handelt, ist jedenfalls wahrscheinlich, wenn es auch bei der Subtilität dieser Erscheinungen schwer ist, den direkten Nachweis zu führen."

Zur Frage: Vitale Reaktion oder nicht, berichtet das SCHEFF'sche Handbuch: "An toten Zähnen (Zähne ohne lebende Pulpa) ist unter Abschleißflächen, kariösen Stellen usw., Transparenz nie nachweisbar, ein strikter Beweis, dass es sich jedenfalls um eine vitale Reaktion seitens der Pulpa und ihrer Ausläufer (Zahnbeinf-

sern) handelt und nicht um eine einfache, chemische Wechselwirkung zwischen Säuren und Kalksalzen."

Dem entgegen EULER und MEYER (2): "Dass bei lebender Pulpa in der Nachbarschaft eines kariösen Herdes eine lebhafte Kalkablagerung in den Dentinkanälchen stattfindet, das sog. transparente Dentin gebildet wird, hatte man schon seit langem beobachtet und die Deutung 'von der Natur wird hier in sinnreichster Weise dem Vordringen der Bakterien ein Wall entgegengesetzt' erschien sehr einleuchtend. In Wirklichkeit aber handelt es sich auch nur um den Ausdruck einer Stoffwechselstörung; es fallen dabei, wie LIESEGANG sagt, 'die Hemmungen für die Niederschlagsbildung'. Eine normale Zellatmung verhindert die Niederschlagsbildung und die Ansammlung von Kalksalzen."

Die heute zumeist vorherrschende Anschauung über die Genese der Transparenz des Dentins, die sich sowohl bei SCHEFF als auch bei FURRER findet, lautet nach HÄUPL (1): "Im Rahmen der pathologischen Verkalkung kommt es zunächst zu einer toxisch verursachten Ablagerung einzelner Kalkkörnchen im Protoplasma der Tomesschen Faser. Bei weiterer Kalkausscheidung scheint die Tomessche Faser reichlich mit Kalk durchsetzt, wodurch der strukturelle Unterschied zwischen Dentinegrundsubstanz und den Dentinkanälchen mehr oder weniger verschwindet. Diese Erscheinung wird als Transparenz des Dentins bezeichnet. Unter dem Einfluss der durch die Bakterien gebildeten Säuren kann ein Teil des in den Tomesschen Fasern abgelagerten Kalkes wieder gelöst werden, so dass sie wieder ein körniges Aussehen erhalten, wie im ersten Stadium der unvollständigen Kalkdegeneration. Es lassen sich also morphologisch drei Zonen im kariösen Dentin unterscheiden, welche auf Kalkdegeneration zurückzuführen sind:

1. Die an das gesunde Dentin angrenzende Zone der äusseren Trübung;
2. Die Zone der Transparenz;
3. Die daran angrenzende Zone der inneren Trübung, welche wie erwähnt, auf die teilweise Auflösung des ausgefüllten Kalkes zurückzuführen ist.

Die praktische Bedeutung der Bildung der transparenten Zonen ist darin gelegen, dass dadurch das weitere Vordringen der Mikroben erschwert wird. Die Transparenz ist allerdings nicht nur für die Karies eigentümliche Erscheinung, sondern sie findet sich auch unter anderen Bedingungen, so z.B. bei Abkautung der Zähne. Sie ist insofern ein irreversibler Vorgang, als normale Verhältnisse nicht mehr wieder hergestellt werden können."

Das Sekundärdentin.

Eine besondere Form der pathologischen Verkalkung am Zahn sei hier noch erwähnt, nämlich die Sekundärdentinbildung. Bei ihr handelt es sich zweifellos um eine vitale Reaktion, eine aktive Tätigkeit der Pulpa und zwar der Odontoblasten. Als auslösendes Moment kommen physiologische, paraphysiologische und pathologische Reize in Frage. Eine Verbindung dieser beiden Phänomene, Dentinveränderung und Sekundärdentin, findet sich bei E.W. FISH (5).

Er behauptet, dass die Entstehung der sog. 'toten Zonen' einer Voraussetzung

bedarf: der Eröffnung der Kanälchen und damit der Herstellung einer Verbindung zwischen der Zahnlymphe und der Mundflüssigkeit. Dies trifft sowohl für die Abkautung als auch für den kariösen Prozess am Zahn zu. Es kommt zu einem Absterben der Tomesschen Faser durch Koagulation. Zur Verhinderung der Schädigung der Pulpa scheidet diese aus noch vital gebliebenen Odontoblasten das sog. Sekundärdentin oder Reizdentin ab. Er hat diese Erkenntnisse experimentell unterbaut durch Abschleifen von Affenzähnen und Einwirkenlassen von diffusiblen, wasserlöslichen Färbelösungen. Dabei stellte er fest, dass der ganze Bezirk unter der Läsion vom übrigen Lymphstrom des Zahnes abgeschlossen war. Nach seinen Worten ist aber: "das Dentin unter der Verletzung nicht tot im Sinne einer Verkalkung; der tote Teil des Zahnbeins bildet einen Infarkt." Als weiteren Beweis für das Bestehen der toten Zonen führt er folgende klinische Erfahrung an: "Es gibt Zonen harten, anscheinend normalen Dentins, besonders an abgekauten Zähnen, die bei Arbeiten mit dem Bohrer unempfindlich sind. Ferner finden sich solche Zonen unter cervicaler Karies, während das gesunde Zahnbein der Umgebung überempfindlich ist. Der Boden der Kavität ist weniger empfindlich als die Wände. Diese unempfindlichen Zonen sind ganz umschrieben und werden beim Bohren übersehen, da sie bisher nicht besonders beschrieben sind. Sie sind bei allen Schädigungen des Zahnbeins vorhanden, müssen aber nicht immer am Boden der Kavität liegen." Zu der Frage nach dem Zustand der geschädigten Dentinkanälchen bzw. ihres Inhaltes, lässt FISH zwei Möglichkeiten offen:

- 1) "Unter dem Mikroskop kann man aber feststellen, dass sie nicht verkalkt sind, sondern nur mit nekrotischem Material angefüllt sind."
- 2) Die andere Möglichkeit beschreibt er in einem Experiment, das hier im Wortlaut wiedergegeben wird: "Zur experimentellen Erzeugung sekundären Dentins wird einem Affen in Narkose ein grosses Stück vom Schmelz der labialen Fläche eines Schneidezahnes mit darunter liegendem Dentin weggeschliffen. Wenigstens vier Wochen muss man mit der Entfernung des Zahnes warten, um Zeit zur Entwicklung sekundären Dentins zu geben. Nach der Extraktion bohrt man mit einem Bohrer in die Wurzel ein Loch bis zur Pulpa und bringt festes Methylenblau auf die Pulpa. Man muss einige Wochen warten unter feuchter, antiseptischer Aufbewahrung des Zahnes." "Bei der Untersuchung von Schnitten dieses Zahnes stellt man fest, dass die Farbe in die unverletzten Röhrchen des Zahnbeins eingedrungen ist, während die verletzten weiss geblieben sind, von der Pulpa bis zur Oberfläche, und dass am Pulparand sekundäres Dentin über die zentralen Enden der verletzten Röhrchen abgelagert ist. Im primären Dentin dieses Abschnittes ist Schrumpfung und Degeneration im Inhalt der Röhrchen festzustellen. Daneben finden wir ein Lager vollständig homogen verkalkten Materials, ganz strukturlos, das die Röhrchen des primären Dentins völlig abschliesst. Diese homogene Barriere ist nicht immer sichtbar und zuweilen hat es den Anschein, dass die Röhrchen des sekundären mit denen des primären Dentins zusammenhängen; aber es ist erwiesen, dass die Barriere immer existiert."

Die Zusammenfassung der ganzen Arbeit von E.W. FISH gibt Paul ROSEN-

STEIN mit folgendem Satz: "Wenn der Inhalt der Dentinröhrchen chemischen oder physikalischen Reizen ausgesetzt ist, die stark genug sind, um in den peripheren Enden der Röhrchen Koagulation hervorzurufen, so stirbt dieses Röhrchen bis zur Pulpa ab und wird vom physiologischen Zusammenhang mit der Pulpa durch eine Lage sekundären Dentins abgetrennt."

Ähnliche Zusammenhänge zwischen der Dentallymphe, ihrer ernährenden Funktion für Dentin und Schmelz und der Strukturveränderung in den Zahnhartsubstanzen finden sich bei C.F. BODECKER (6). Er prägte den Begriff der 'protektiven Metamorphosen' und versteht darunter die Eintrocknung der Dentallymphe und die Bildung von Gasblasen in den Dentinkanälchen auf Grund der 'Reifung' des Zahnes oder als Antwort auf äussere Reize. Solche Bezirke erscheinen im durchleuchteten Schliff schwarz, im Gegensatz zur sog. 'Sklerose', die weiss erscheint. Eine praktische Nutzenanwendung dieser äusseren und inneren Veränderungen an Zähnen die in Funktion stehen, wird von G. GUSTAFSON (7) beschrieben. Sie hat sogar forensische Bedeutung gewonnen. Unter dem Titel 'Age Determination on Teeth' veröffentlichte er eine wertmässige Bestimmung der auf Grund der Alterung und der Aufbrauchung sichtbar werdenden Veränderungen. Sie werden feststellbar an sechs verschiedenen Faktoren, die jeweils wieder eine graduelle Steigerung von 0-3 erfahren. Diese sind: Abrasio, Parodontium, ('fortlaufender Durchbruch'), Sekundärdentin, Zementaposition, Resorption der apikalen Wurzel und die Transparenz. Aus diesen Zahlenwerten, eingesetzt in eine Formel mit zwei Konstanten bestimmt er mit 10%iger Genauigkeit das Alter des Trägers der untersuchten Zähne.

Eine Bestätigung der Richtigkeit der beobachteten, altersbedingten Veränderungen an Zähnen stellt die zusammenfassende Arbeit von H. EULER (8) dar. Darin wird angeführt, dass sich das Verhältnis der organischen Substanz zur anorganischen in den Zahngeweben zugunsten der letzteren verschiebt. Es erfolgt eine Zunahme des kohlensauren Kalkes von 1-3% auf 4,3-7%. Unter einer Abbildung die den Zahnschliff eines unteren Eckzahnes eines 68jährigen zeigt, werden nur die wenigen dunklen Partien im Dentin als kanälchenhaltig beschrieben und zwar sichtbar gemacht durch den Lufteinschluss. Ausserdem erfolgt eine allgemeine Zunahme des Dentins auf Kosten des Pulpenkavums bis zur völligen Obliteration. Diese Dinge sollen nicht unbedingt an Alterung gebunden sein, sondern genau wie die Verfettung der Odontoblastenfortsätze bereits in jüngeren Jahren zu finden sein, wenn eine entsprechende, starke Belastung erfolgt. Diese Strukturveränderungen des Dentins, die sich im Experiment nur auf die Krone des Zahnes erstrecken können, bei funktionell belasteten Zähnen aber auch im Hals- und Wurzelteil der Zahnhartsubstanz zu finden sind, werden von EULER und MEYER (2) als 'chronisches Trauma' bezeichnet. Sie schreiben dazu: "Das Wesen des chronischen Traumas an den Zähnen ist meist aufzufassen als eine übermässige, sich häufig wiederholende Inanspruchnahme einzelner Zahnkronenabschnitte. Zu trennen von diesem Begriff des chronischen Traumas ist die meist erworbene, übermässige, sich häufig wiederholende Inanspruchnahme des ganzen Zahnes durch funktionelle Überbe-

lastung; sie findet ihre Auswirkung mehr im Parodontium... Alle diese mechanischen Effekte haben das Gemeinsame, dass sie auch einen beträchtlichen Reiz für die Odontoblastenfortsätze und die Pulpa selbst darstellen, und dass wir als Reizwirkung die entsprechenden Reaktionen in den Dentinkanälchen und dem Pulpenkavum bekommen. Mit anderen Worten: histologisch werden wir keine für das chronische Trauma allein als spezifisch geltenden Bilder erwarten dürfen, sondern mit der Bildung von transparenten Zonen, von sekundärem Dentin usw., Befunde erheben, die auch bei einfacher Abkautung, bei oberflächlicher Karies usw., stets zu finden sind ..."

"Solange ein Zahn noch keinerlei Insulten ausgesetzt ist und nur sozusagen seiner normalen Entwicklung zu leben hat, zeichnet sich die Dentinbildung durch eine grosse Gleichmässigkeit aus; ... Diese Dinge ändern sich aber sofort, wenn den Zahn stärkere Reize - auch solche von physiologischer, regelmässig wiederkehrender Art wie die funktionelle Belastung - treffen. Diese Insulte stellen Reize dar, die mit dem ganzen Zahn natürlich auch die Pulpa und mit ihr die Odontoblasten treffen. Man könnte die allgemeinen Reize, bei denen ja sicher auch das Verhalten des Gefässsystems eine Rolle spielt, als die mittelbare Reizung der Odontoblasten bezeichnen, im Gegensatz zu derjenigen, die an der Peripherie sofort die Dentinkanalausläufer der Odontoblasten trifft und für die letzteren einen unmittelbaren Reiz bedeutet. Das Bild der Sekundärdentinapposition kann ganz dasselbe sein, gleichviel, ob es sich um das Produkt einer mittelbaren oder unmittelbaren Reizung handelt"

"Eine ganz ungeklärte Frage ist, ob und wann für die entwicklungsgeschichtliche Aufgabe der Odontoblasten eine formale und zeitliche Grenze gesetzt ist, nach deren Erreichung ihre Rückbildung als normalbiologischer Vorgang zu erwarten wäre, wenn nicht funktionelle und andere Reize hinzukämen. Tatsache ist jedenfalls, dass man einen in Funktion stehenden Zahn mit völlig normaler Odontoblastenschicht überhaupt nicht zu Gesicht bekommt und weiterhin, dass das sekundäre Dentin, das in höherem Alter oder auf einen stärker einsetzenden Reiz hin gebildet wird, meist viel kanalarmer ist, als das normale primäre Dentin, weil eben eine grosse Anzahl Odontoblasten als minderwertig geworden ausfallen. Im übrigen ist der Ausfall selbst einer grösseren Strecke von Odontoblasten durchaus kein Hindernis für die Bildung von Sekundärdentin; nur ist dieses meist nicht mehr kanalisiert, sondern von zahlreichen feinsten Fibrillen durchzogen. Es bildet dann eben mit Hilfe der hierbei besonders stark auftretenden v. Korff'schen Fasern lediglich eine ausgedehntere intertubuläre Substanz, die freilich als atypisch anzusprechen ist."

Überblickt man alle diese Aussagen, so steht fest, dass es einen direkten, lokalisierten, ursächlichen Zusammenhang gibt zwischen Reiz- bzw. Belastungswirkung und Sekundärdentinbildung. So wie nun die Reizaufnahme sich nicht gleichmässig auf die ganze Oberfläche verteilt, so zeigt sich auch, : "dass die Anlagerung des sekundären Dentins nicht an allen Stellen der Pulpawand gleichmässig erfolgt; es findet deshalb auch meist keine gleichmässige, konzentrische Ver-

engerung der Pulpahöhle statt; vielmehr gibt es scheinbar Prädilektionsstellen; zu ihnen gehören: Pulpadach, Eingang zum Wurzelkanal und ganz besonders bei mehrwurzeligen Zähnen der Boden der Kronenpulkammer. Es ist wohl anzunehmen, dass diese Stellen keine willkürlichen Prädilektionsitze sind, sondern mit besonderen Belastungswirkungen zusammenhängen."

Letzteres Zitat stammt von EULER und MEYER (2).

Zum gleichen Thema schreiben die beiden Autoren weiter: "Recht eigentümlich liegen die Verhältnisse hinsichtlich des sekundären Dentins bei den Wurzelkanälen. Einerseits pflegen in der Wurzelpulpa die Odontoblasten viel früher und umfangreicher zu degenerieren als in der Kronenpulpa, und andererseits zeigen gerade die Wurzelkanäle mit zunehmendem Alter ausnahmslos die Tendenz, durch Apposition an den Wänden immer enger zu werden."

Diesbezüglich sei auf die klinische Erfahrung hingewiesen, dass die Durchführung einer Wurzelbehandlung an dem weitgehenden Nichtvorhandensein eines Wurzelkanals scheitern kann.

W. MEYER (9) berichtet folgende Beobachtung: "Mit dem Alter nimmt das Lumen der Dentinkanälchen bedeutend ab. Es muss also offenbar noch zeitlebens auf Kosten der Kanäle Grundsubstanz angebaut werden. Diese Verengung der Kanäle und die nachträgliche Verkalkung der kollagenen Grundsubstanzfibrillen lassen das Dentin im Alter härter erscheinen. Auch im optischen Verhalten macht sich diese stärkere Verkalkung durch sog. Transparenz des Zahnbeins bemerkbar. Solche Zähne sind manchmal in ihrem Wurzelteil wachsartig durchscheinend, und im Schliffpräparat nehmen die stärker verkalkten Kanäle die Farben, z.B. das Fuchsin, nicht so gut an, sie erscheinen heller."

d) Analogie zur Karies.

Alle Strukturveränderungen des Zahnbeins wurden primär im kariös veränderten Dentin entdeckt und beschrieben. Es gibt in der Literatur nur einige Hinweise darauf, dass sie auch im nicht von der Karies befallenen Zahnbein vorkommen können. Die auffallendsten Veränderungen gegenüber dem normalen Dentin sind die schwarzen Streifen und die transparenten Kegel in der Nachbarschaft der Kariesherde. EULER und MEYER (2) berichten darüber. "Schon bei einer geringfügigen Schmelzkaries, die sich erst als kleiner opaker Fleck zeigt, kann man im Dentin des Schliffes einen streng begrenzten schwarzen Streifen erkennen. Er ist leicht s-förmig geschwungen, folgt den Dentinkanälchen und reicht bis zur Pulpa. Das gleiche gilt für Erkrankungen der Cuticula dentis im Bereich von Schmelzlamellen. Ähnlich sind die Bilder, die man bei oberflächlicher Zahnhals- oder Zementkaries findet."

Die Lokalisation dieser Veränderungen ist abhängig einerseits von der Stärke der Abwehr der Pulpa und andererseits von der Stärke des Angriffs der Karies. Breitet sich der kariöse Prozess aus, so nimmt der schwarze Streifen von aussen nach innen ab, und das betreffende Dentingebiet wird zur sog. transparenten Zone.

Diese ist an ihren Seiten wiederum von einem bzw. zwei schwarzen Streifen begrenzt. Dieses transparente Dentin wird abgelöst von der sog. Zone der äusseren Trübung, worauf dann die Auflösung erfolgt.

Diese schwarzen bis transparenten Dentingebiete haben meist Trapez- bis Kegelform. Manchmal zeigen sie auch die Form eines zur Pulpa zu fallenden Tropfens. Vermutlich entsteht diese Form dadurch, dass der befallene Bezirk nicht parallel, sondern schräg zu seinem Verlauf geschliffen wurde.

Das Aussehen dieser durch die Karies verursachten Veränderungen im Dentin gleicht völlig denen, die durch die Funktion entstehen. Es liegt somit der Schluss nahe, dass sie auch in ihrem Wesen gleich sind. Dies gilt natürlich nur für die Zonen der vitalen Reaktion der Kariesabwehr: Verfettung, körnige Verkalkung und homogene Verkalkung.

III. EIGENE UNTERSUCHUNGEN

A. MAKROSKOPISCHE BEOBACHTUNGEN

Es wurden 120 Zähne mit folgenden Charakteristika ausgewählt:

- 1) verlagerte Eckzähne und Weisheitszähne
- 2) aus kieferorthopädischen Gründen extrahierte Prämolaren
- 3) Zähne der Gebrauchsperiode, die keine Karies aufwiesen.

Sie wurden zu durchschnittlich 150 - 200 μ dicken Schliffen verarbeitet und zunächst mit dem blossen Auge oder mit einer schwachen Lupe (3fache Vergrösserung) in auf- und durchfallendem Licht untersucht. Ein Teil der Zähne wurde in Kanada-Balsam bzw. in Glycerin-Gelatine eingebettet. Andere wiederum vorher in 10%igem Formalin für eine Zeit von 1-4 Wochen fixiert, während die grosse Masse der Zähne unmittelbar nach der Extraktion zu Schliffen verarbeitet wurde.

1) AUFTRETEN DER OPTISCHEN INHOMOGENITÄT

1a) an kariesfreien, in Funktion stehenden Zähnen

Bei Betrachtung der in Luft eingebetteten Dünnschliffe im durchfallenden Licht fällt gegenüber den Schnitten entkalkter Zähne (Abb. 1 u. 2) sofort die optische Inhomogenität des Dentins auf. Das Hauptmerkmal des Zahnbeins sind die annähernd radiär verlaufenden Kanälchen, die sich in mehr oder weniger stark s-förmig gebogenen Linien darstellen. Daneben wechseln scheinbar wahllos über den Dentinkörper verteilt, dunkle Partien mit helleren und solche von grauer Farbe ab (Abb. 3). Die schwarzen Dentinpartien lassen stellenweise keine Kanälchenstruktur mehr erkennen und auch die helleren erscheinen zum Teil linienfrei und transparent. Wird der Zahn an Stelle von durchfallendem im auffallenden Licht betrachtet, so wenden sich die Verhältnisse ins Gegenteil, d. h., die vorher schwarzen Partien erscheinen jetzt heller als die Umgebung. Bei Einbettung der

Schliffe in Glycerin-Gelatine werden die schwarzen Partien ganz geringfügig aufgehellt. Bei Verwendung von Kanada-Balsam als Einbettungsmedium erfolgt eine sehr deutliche Veränderung der in Luft schwarzen Dentingebiete. Sie werden wesentlich heller und aufgeteilt in graue Innenbezirke und eine schwarze Randzone. Ausserdem treten die Kanälchen stärker hervor (Abb. 3).

Was die Lokalisation der dunklen, im durchfallenden Licht strukturlos erscheinenden Dentinpartien betrifft, so scheint diese bei Betrachtung eines einzelnen Schliffes willkürlich zu sein. Bei dem Vergleich vieler Schliffe lässt sich jedoch eine gewisse charakteristische Verteilung erkennen. Die typischen schwarzen Stellen im Zahnbein sind (Abb. 3):

- 1) die Höckerspitzen bzw. Schneidekanten;
- 2) das Zahnhalsgebiet, insbesondere der Übergang vom Schmelz zum Zement;
- 3) die Wurzel, beginnend am Zahnhals und sich mehr oder weniger weit nach apical erstreckend.



ABBILDUNG 1

Seitlicher Schneidezahn des Oberkiefers, geschliffen, eingebettet in Luft, 3-fach vergrössert. Man sieht die schwarzen kanälchenhaltigen und die weissen kanälchenfreien Gebiete des Dentins.

ABBILDUNG 2

Der gleiche Zahn wie Abb. 1 nach der Entkalkung des Schliffes. Dabei ist der Schmelz durch Auflösung verlorengegangen. Das Präparat ist in Kanada-Balsam eingebettet.

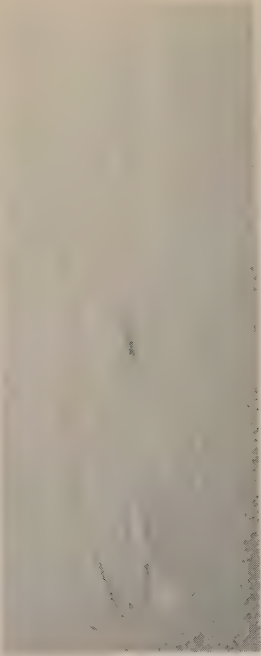
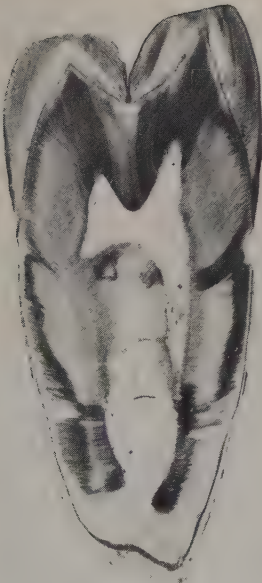


ABBILDUNG 3

Ein oberer Prämolare, geschliffen, in Kanada-Balsam eingebettet, 3fach vergrößert. Man sieht die für die Kanada-Balsam-Einbettung typische Aufteilung der Dentinfärbung in weisse, graue und schwarze Bezirke. Dazu die charakteristische Verteilung der schwarzen Partien. Besonders deutlich kommen die Veränderungen im Dentin durch die Fissurenkaries zum Ausdruck.



Charakteristisch ist weiter das 'Pulpenwärts-Wandern' der dunklen Partien im Bereich der mittleren Wurzelhöhe (Abb. 3). Apical von diesem Gebiet ist das Dentin fast völlig strukturlos. Es ist transparent. Diese Unterschiede in der optischen Erscheinung des Dentins finden sich sowohl bei Zähnen die in 10%iger Formalinlösung fixiert waren, als auch bei gleich nach der Extraktion zu Schliffen verarbeiteten Zähnen.

1b) an kariesfreien, nicht in Funktion stehenden Zähnen.

In einer zweiten Versuchsreihe wurden 10 Zähne zu Schliffen verarbeitet, die noch nicht in Funktion gestanden hatten. Es handelt sich dabei ausschliesslich um retinierte Eck- und Weisheitszähne, die operativ entfernt werden mussten. Schon äusserlich unterscheiden sich diese Zähne durch ihre opak-weiße Farbe von denen der ersten Gruppe (Abb. 6a u. 7a). Die Schliffe zeichnen sich durch eine vollständige optische Homogenität des Dentinkörpers aus (Abb. 6c). Das Zahnbein erscheint durchwegs grau bis weiss, je nach der Dicke des Schliffes. Die Dentinkanälchenzeichnung ist überall deutlich zu erkennen. Es liegt nahe anzunehmen, dass wir bei diesen Schliffen von Zähnen, die noch nicht den Bedingungen der Mundhöhle ausgesetzt waren und einen vollkommen gleichmässigen Aufbau zeigen, den ursprünglichen Zustand des Dentinkörpers vor uns haben. Alles was von diesem Bild abweicht, muss durch intravitale oder postmortale Einflüsse verändert worden sein.

1c) an abradierten Zähnen.

Diese dritte Versuchsreihe umfasste 15 stark abradierte, kariesfreie Zähne. Es zeigte sich in besonders ausgeprägter Form die beschriebene optische Inhomogenität des Zahnbeins. Die sich grau darstellende Dentinsubstanz war bei einigen Zähnen fast völlig verschwunden. Schwarze Dentinpartien und transparentes Dentin beherrschten das Bild.

1d) an kariesfreien, jugendlichen oberen Prämolaren.

Bei diesen Zähnen handelt es sich um obere erste Prämolaren, die aus kieferorthopädischen Gründen extrahiert wurden. Sie stellen ihrem Aussehen nach eine Zwischenstufe dar zwischen 1a) und 1b). Ihr Äusseres gleicht den retinierten Zähnen, jedoch war die Ausbildung der Wurzeln in manchen Fällen noch nicht beendet. Die Dentinstruktur der Schliffe weist schon die ersten Veränderungen auf. Es zeigen sich in der grauen Dentinmasse hellere und dunklere Streifen. Sie laufen vom Zement des Zahnhalses ausgehend in leichtem Bogen zum Apex und nähern sich dabei dem Pulpenkavum. In der Krone befinden sich einzelne schwarze Streifen mit geringer Ausdehnung an den in 1a) beschriebenen Stellen.

2) ZUSAMMENHANG DER LOKALISATION UND DER AUSDEHNUNG DER IM SCHLIFF DUNKLEN ZAHNBEINPARTIEN MIT DEM ALTER UND DER FUNKTIONSBELASTUNG DER ZÄHNE.

Durch die vergleichsweise Betrachtung von Zähnen verschiedener Altersstufen und Funktionsbelastung wurde versucht, eine Beziehung zwischen der Verteilung der dunklen und transparenten Bezirke im Dentin und der Aufbrauchung der Zähne herzustellen. Hier liessen die 120 durchgeführten Schliffe eine gewisse Regelmässigkeit erkennen. Mit der Zunahme des transparenten Dentins, das von der Wurzelspitze ausgeht und sich kronenwärts ausdehnt, wird die sich grau darstellende, deutlich strukturierte Dentinsubstanz an Umfang geringer. Die schwarzen Bezirke dagegen verändern zwar ihre Lage, bleiben aber annähernd gleich gross. Schematisch ist der Zusammenhang der verschiedenen Farbtönungen des Dentins mit dem Lebensalter und der Funktionswirkung in Abb. 4 dargestellt. Die Skizze 1a) der Abbildung zeigt die schematische Darstellung des Schliffes eines jugendlichen Zahnes mit gleichmässiger Grautönung und der feinen Zeichnung der Dentinkanälchen. Bereits bei Zwanzigjährigen konnte das Auftreten der dunkleren, makroskopisch strukturlos erscheinenden Dentinpartien, sowie deren Pulpawärtswandern an der Wurzelspitze und der Beginn der Ausbildung transparenten Dentins am Apex gefunden werden. Abb. 4 Skizze (1b). Das transparente Dentin dehnt sich bei Zähnen älterer Patienten auf Kosten der grauen Substanz aus Abb. 4 (Skizze 1c).

In charakteristischer Form ist dieses auf dem Schliff der Abb. 5 dargestellt. Der Schliff stammt von einem unteren Prämolaren eines 70jährigen Mannes. Auffallend war hier auch, dass der Rand der knöchernen Alveole bis zu der durch die beiden Pfeile angegebenen Wurzelhöhe resorbiert war. Diese Höhe entspricht etwa den Stellen der "pulpenwärts wandern" schwarzen Partien. Während im koronalen Wurzelteil die schwarzen Bezirke sich nahe der Zementgrenze finden, verlagern sie sich wurzelwärts in Richtung Pulpa, so dass sie im apicalen Wurzelteil unmittelbar an das Zahnmark angrenzen. Apexnah findet sich in unterschiedlicher Ausdehnung das sog. transparente Dentin, das keine Kanälchenstruktur im Schliff mehr erkennen lässt (Abb. 3 u. 5).

Die Skizze 2 der Abbildung 4 stellt die flächenmässige Verteilung der drei unterschiedlich sich optisch zeigenden Dentinfärbungen in Schliffpräparaten dar. Die einzelnen Rechtecke entsprechen jeweils der gesamten Fläche des Wurzel-dentins. Auf der Abszisse ist das zunehmende Alter der Zähne eingetragen. Für das Kronendentin lässt sich kein derartiges Schema aufstellen, denn die Veränderungen erfolgen dort nicht so systematisch. Sie sind vielmehr nur auf einzelne, bestimmte Stellen beschränkt.

ABBILDUNG 4

Schematische Darstellung der Verteilung der sich im Schliff bei durchfallendem Licht dunkel, grau und transparent abzeichnenden Dentinpartien einer Zahnwurzel.

- Skizze 1a Impaktierter Zahn, der noch nicht in Funktion gestanden hat
 Skizze 1b Zahn, der bereits mehrere Jahre in Funktion gestanden hat
 Skizze 1c Zahn eines alten Patienten
 Skizze 2 Graphische Darstellung der Abhängigkeit der Verteilung von dunklen, grauen und transparenten Dentinanteilen im Bereich der Wurzel vom Alter des Zahnes. Jede Säule stellt die gesamte Masse des Wurzeldentins dar.



dunkle Dentinpartien

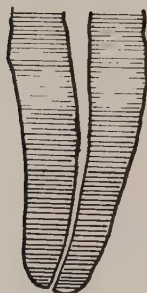


graue Dentinpartien



transparentes Dentin

Skizze 1.



a.



b.



c.

Skizze 2.

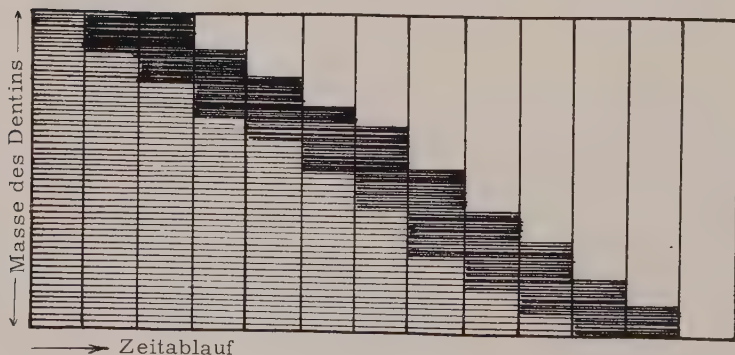


ABBILDUNG 4



ABBILDUNG 5

Ein unterer Prämolare, geschliffen, in Kanadabalsam eingebettet, dreifach vergrößert. Die Pfeile geben den oberen Rand der knöchernen Alveole an. Man sieht die Zunahme der Transparenz des Wurzelzementins in Richtung Zahnhals. Dieser zeigt breite schwarze Streifen als Folge einer cirkumferenten chronischen Karies. Weiter sieht man den scharfen Knick der schwarzen Randzeichnung im Mittelteil der Wurzel.

Die Verschiebung in der Verteilung der dunklen, grauen und transparenten Dentinanteile lässt sich deutlich an den Abbildungen 6, 7 und 8 erkennen. Es handelt sich um eine Gegenüberstellung. Die Abbildungen 6a-d stammen von einem retinierten oberen Eckzahn, der auf operativem Wege entfernt wurde, also noch nicht in Funktion gestanden hat; 7a - d von einem mittleren oberen Schneidezahn eines 50-jährigen Mannes und 8a - d von einem unteren Prämolaren eines 70-jährigen Mannes. Beide Zähne standen in Alveolen mit stark geschwundenen Rändern und retrahierter Gingiva.

In der oberen Reihe sind jeweils die Abbildungen des unbehandelten Zahnes im Auflicht (6a, 7a, 8a), jenen im durchfallenden Licht (6b, 7b, 8b) gegenübergestellt. Dann wurden die Zähne zu Schliffen verarbeitet und im Medium Luft fotografiert (6c, 7c, 8c). Schliesslich wurden die Schliffe der ersten beiden Zähne in der Längsrichtung durchgebrochen und zur Hälfte in Kanada-Balsam (linke Hälfte 6d, 7d, sowie der Gesamtschliff 8d) und zur anderen Hälfte in Glycerin-Gelatine (rechte Hälfte 6d, 7d) eingebettet.

Werden die Zähne (6a, 7a, 8a) miteinander verglichen, so fallen schon äusserlich die durch die Funktion bedingten Veränderungen auf. Im Gegensatz zur homogenen optischen Erscheinung des verlagerten Eckzahnes, zeigen die anderen beiden Zähne deutliche Gebiete mit transparentem Dentin. Hier schimmert bei der Auflichtaufnahme die dunkle Unterlage des Zahnes durch, während diese Zonen im durchfallenden Licht hell erscheinen. Nicht nur in der Wurzel, sondern auch in der Zahnhalregion des Prämolaren ist die Transparenz vorhanden. Der Unterschied zwischen dem Eckzahn der nicht in Funktion gestanden hat und den beiden abradierten Zähnen, kommt bei einem Vergleich der Schliffe im Medium Luft (Abb. 6c, 7c, 8c) besonders deutlich zum Ausdruck.

Durch die Kanada-Balsam-Einbettung werden manche dunklen Partien im Dentin aufgehellt (vergl. Abb. 8c mit 8d), andere dagegen erscheinen jetzt dunkler (vergl. Abb. 7c mit 7d linke Hälfte). Durch die Einbettung in Glycerin-Gelatine wird bei den Schliffen das Erscheinungsbild des Dentins nur unwesentlich gegenüber den in Luft fotografierten Schliffen verändert.

3) UNTERSUCHUNGEN ZUR FRAGE DER DEUTUNG DER SICH IM SCHLIFF DUNKEL DARSTELLENDEN ZAHNBEINPARTIEN.

a) Einfluss der histologischen Verarbeitung.

Die Tatsache, dass eine gewisse Entwicklung der aufgezeigten optischen Inhomogenität im Laufe des Lebens festzustellen ist, lässt darauf schliessen, dass es sich bei diesen optischen Unterschieden nicht um postmortal sich abspielende, sondern um intravitale Vorgänge handelt. Trotzdem musste untersucht werden, ob durch die präparatorischen Massnahmen bei der Herstellung der Schliffe eine Veränderung der optischen Erscheinung des Dentins hervorgerufen wird. Nach der Extraktion wurden anfangs die zu untersuchenden Zähne in 10%iger Formalin-Lösung aufbewahrt. Sie könnte zu einer Fällung des Eiweisses in den

Dentinkanälchen beitragen und das optische Verhalten der Odontoblastenfortsätze verändern. Diese Möglichkeit wurde ausgeschlossen durch die Verarbeitung unfixierter Zähne unmittelbar nach der Extraktion. Auch sie weisen optische Inhomogenität auf. Weiter könnte der Schleifprozess das Aussehen des Dentins verändern. Die erzeugte Reibungshitze könnte zur Koagulation der organischen Anteile Anlass geben oder aber der Schleifschlamm, bestehend aus Dentinpulver, Karborund und Wasser, könnte durch Füllung der Kanälchen jene dunkler sich darstellenden Partien im Dentin entstehen lassen. Jedoch auch bei äusserster Sorgfalt während des Schleifens, bei Verwendung von sehr viel Wasser und niedriger Tourenzahl treten die genannten Unterschiede auf.

Schliesslich musste auch an die verschiedenen Einbettungen gedacht werden, die wie bereits besprochen, optisch verschiedene Bilder des Dentins entstehen lassen. Die Wirkung dieser Mittel kann chemischer oder mechanischer Natur sein. Es erfolgt bei der Einbettung und zwar stärker bei der Verwendung von Kanada-Balsam als bei Glycerin-Gelatine, eine Aufhellung der in Luft relativ gleichmässig geschwärzten Dentinpartien. Da der optische Unterschied nur von dem verschiedenen Brechungsindex der durchleuchteten Substanzen herrührt, könnte eine Aufhellung durch chemische Lösung des Kanälcheninhaltes oder durch mechanische Luftverdrängung vor sich gehen. Eine Verstärkung dagegen kann in einer Fällung oder in Lufteinschlüssen ihre Ursache haben. Dieses letzte Phänomen ist es, das immer wieder zur Erklärung der Inhomogenität des Dentins herangezogen wurde. Wenn die Kanälchen bei der Einbettung mit Luft gefüllt sind, so kann diese durch den einflussenden Balsam verdrängt werden. Die ursprünglich dunklen Partien werden dadurch aufgehellt. Ist jedoch der Balsam nicht flüssig genug oder wird die relativ dickflüssige Glycerin-Gelatine verwendet, so könnte die Luft nicht zum Entweichen gebracht werden und die Kanälchen blieben dunkel. Tatsächlich ist die Aufhellung bei Verwendung des flüssigen Kanada-Balsams stärker als bei Verwendung der Glycerin-Gelatine.

Es wurde nun der Versuch einer Vakuum-Einbettung unternommen. Die Schleife wurden auf dem Objektträger mit dem Einbettungsmedium bedeckt und in eine Kammer mit einem Unterdruck von 16 mm/Hg gebracht. Es bildeten sich dabei im gesamten Tropfen des Einbettungsmittels Blasen, was wohl auf die Erniedrigung des Siedepunktes des Lösungsmittels zurückzuführen ist. Makroskopisch verändert sich das Aussehen der Schleife durch die Behandlung im Vakuum nicht. Bei einigen, wenigen Schliften entsteht der Eindruck, als ob die Unterdruck-Behandlung der Schleife bei Einbettung in Kanada-Balsam eine gewisse Aufhellung der dunklen Dentinpartien zur Folge hätte. Eindeutig ist die Veränderung jedoch nicht. Die Vakuum-Einbettung hat somit keinen besonderen Einfluss auf die makroskopische optische Erscheinung des Dentins.

Um nun festzustellen, inwieweit Hohlräume im Dentin vorhanden sind, wurde der Versuch einer Kanälchenfüllung mit Methylviolett durchgeführt. Die Schleife wurden in alkoholische Lösung von Methylviolett gelegt und diese erwärmt. Es verdampfte das Lösungsmittel. Gleichzeitig sollte die Luft aus den Kanälchen ent-

weichen und der Farbstoff sich darin niederschlagen. Es gelangten solche Zähne zur Untersuchung, die lange und solche die erst kurze Zeit in Funktion gestanden haben. Letztere waren obere erste Prämolaren, die aus kieferorthopädischen Gründen extrahiert worden waren. Als Ergebnis zeigten die jungen Zähne eine gleichmässige Füllung der Dentinkanälchen von der Pulpa bis zum Schmelz bzw. Zement. Die länger funktionsbelasteten Zähne zeigten nur die Dentinkanälchen gefüllt, die noch nicht zur Pulpa hin mit Sekundärdentin verschlossen waren. Ausserdem blieb der gesamte periphere Abschnitt der Kanälchen frei von Farbe. Das sind jene Bezirke, die bei unbehandelten Schliffen und Kanda-Balsam-Einbettung schwarz erscheinen.

Eine andere Möglichkeit war noch zu bedenken, wenn angenommen wurde, dass die dunklen Dentinpartien durch Fett in den Kanälchen hervorgerufen werden. Dieses kann durch das Xylol, in das der Schliff vor der Einbettung gebracht wird oder das sich auch im Kanada-Balsam befindet, gelöst werden. Um diese Frage zu klären, ob das Fett vor der Einbettung tatsächlich gelöst wird, wurden Zahnschliffe halbiert und jeweils eine Hälfte durch Stufenalkohol geschickt. Die Verweildauer in jeder Stufe, im 60%-, 70%-, 80%- 96%igen und absoluten Alkohol, betrug jeweils fünf Minuten. Zusammen mit dem unbehandelten Teil wurden diese dann untersucht. Es resultierte bei den mit Alkohol behandelten Schliffen eine Aufhellung der pulpenahen Dentinanteile gegenüber den unbehandelten Schliffhälften. Im Bereich der dunkleren Dentinzonen dagegen konnte durch die Behandlung mit Stufenalkohol keine Veränderung festgestellt werden.

3b) Fett- und Eiweissfärbungen.

Da die durch Karies im Bereich der vitalen Reaktionen auftretenden Veränderungen im Zahnbein das gleiche Aussehen aufweisen, wie die durch die Funktion bedingten, wurde daraus geschlossen, dass sie auch in ihrem Wesen gleich sein könnten. Um dies zu bestätigen, wurden Fett- und Eiweissfärbungen durchgeführt. Damit sollten die Zonen dargestellt werden, die zeitlich vor der Transparenz im Dentin zu finden sind. Zur Fettfärbung wurden Sudan III, Scharlach R mit Aceton bzw. NaOH, 1%ige Osmiumsäure und eine konzentrierte Nilblaulösung in Wasser angewendet. Zu den drei farbigen Lösungen ist zu sagen, dass leicht der Verdacht entstehen könnte, dass sie lediglich Hohlräume ausfüllen und so eine Fettfärbung vortäuschen. Dem wurde versucht aus dem Wege zu gehen mit der farblosen Osmiumsäure. Sie färbt die Schliffe wesentlich schwächer ein, gibt aber im ganzen sehr unklare Bilder. Ausserdem findet bei der Glycerin-Gelatine-Einbettung ein Übertreten der Farbe in das Einbettungsmedium statt. Sudan III erwies sich ebenfalls als ungünstig. Es färbt den ganzen Schliff ein und lässt keine Differenzierung zu. Besser zeigte sich Scharlach R. Beide, Sudan III und Scharlach R vertragen aber keine Einbettung in Kanada-Balsam. Deshalb wurde die Glycerin-Gelatine verwendet. Am besten eignete sich Nilblau. Damit gefärbte Schliffe können in Kanada-Balsam eingebettet werden. Es färben sich die pulpenahen

Dentinanteile blau ein. Die Eiweissfärbungen wurden durchgeführt mit Amidoschwarz und sollten die von BODECKER (6) beschriebenen 'protektiven Metamorphosen' aufzeigen. Hierbei fand wiederum eine Einfärbung der pulpenahen Dentinanteile statt. Nach der Peripherie zu nahm die Farbstärke ab. Das Ergebnis war in beiden Fällen, bei Nilblau- und Amidoschwarzfärbung, gleich. Junge und funktionsarme Zähne färben sich homogen über das ganze Dentin ein, während die Zähne der Gebrauchsperiode die schmelz- bzw. zementwärts gelegenen Abschnitte ungefärbt darstellen. Diese zeigen sich nach der Kanada-Balsam-Einbettung als mehr oder weniger dunkler Randstreifen.

Zur Klarstellung, wie weit die Fettfärbung und wie weit die Eiweissfärbung reicht, wurden Zahnschliffe halbiert und die eine Hälfte mit Nilblau, die andere mit Amidoschwarz behandelt. Beide färben nur den im unbehandelten Schliff grauen Dentinbereich und nehmen in ihrer Farbstärke von innen nach aussen ab. Die Ausdehnung der gefärbten Bezirke scheint bei der Amidoschwarzfärbung grösser zu sein als beim Nilblau. Schematisch ergibt sich folgendes Bild (Abb. 9):

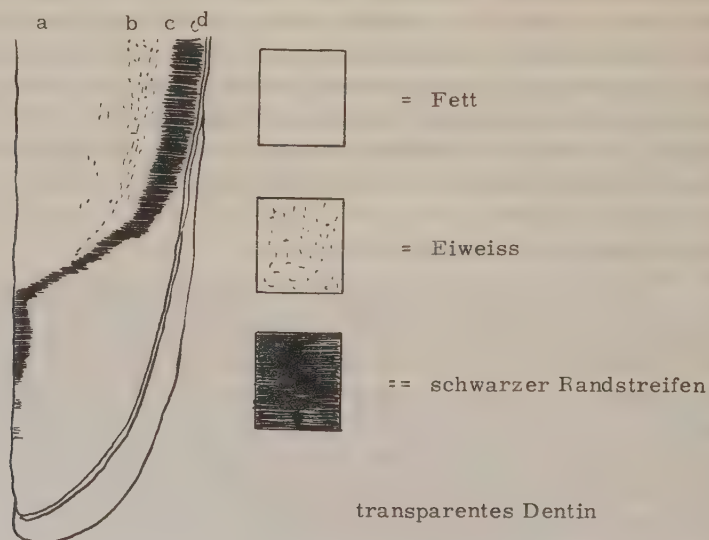


ABBILDUNG 9

Schematische Darstellung der Ausdehnung der gefärbten Dentinbezirke bei Fettfärbung mit Nilblau und Eiweissfärbung mit Amidoschwarz. Die Darstellung stellt das Resultat des Vergleiches jeweils der beiden speziell gefärbten Hälften ein und desselben Zahnes dar. Von der Pulpa peripherwärts lassen sich unterscheiden:

- a) Zone mit vorwiegender Fettfärbung
- b) Zone mit vorwiegender Eiweissfärbung
- c) ungefärbte Zone grauen Dentins
- d) schwarzer Randstreifen

Um die Verlässlichkeit der Fettfärbung mit Nilblau zu kontrollieren, wurden Zahnschliffe in ihrer Längsachse halbiert und die eine Hälfte mit Stufenalkohol behandelt. Die Verweildauer betrug jeweils 5 Minuten pro Stufe. Eventuell vorhandenes Fett sollte durch die Behandlung im Stufenalkohol herausgelöst werden. Darauf wurden beide Hälften in Nilblau gefärbt und über Xylol zur Einbettung in Kanada-Balsam gebracht. Das Ergebnis ist eine schon makroskopisch sichtbare Verminderung der Farbdichte im vorbehandelten Teil.

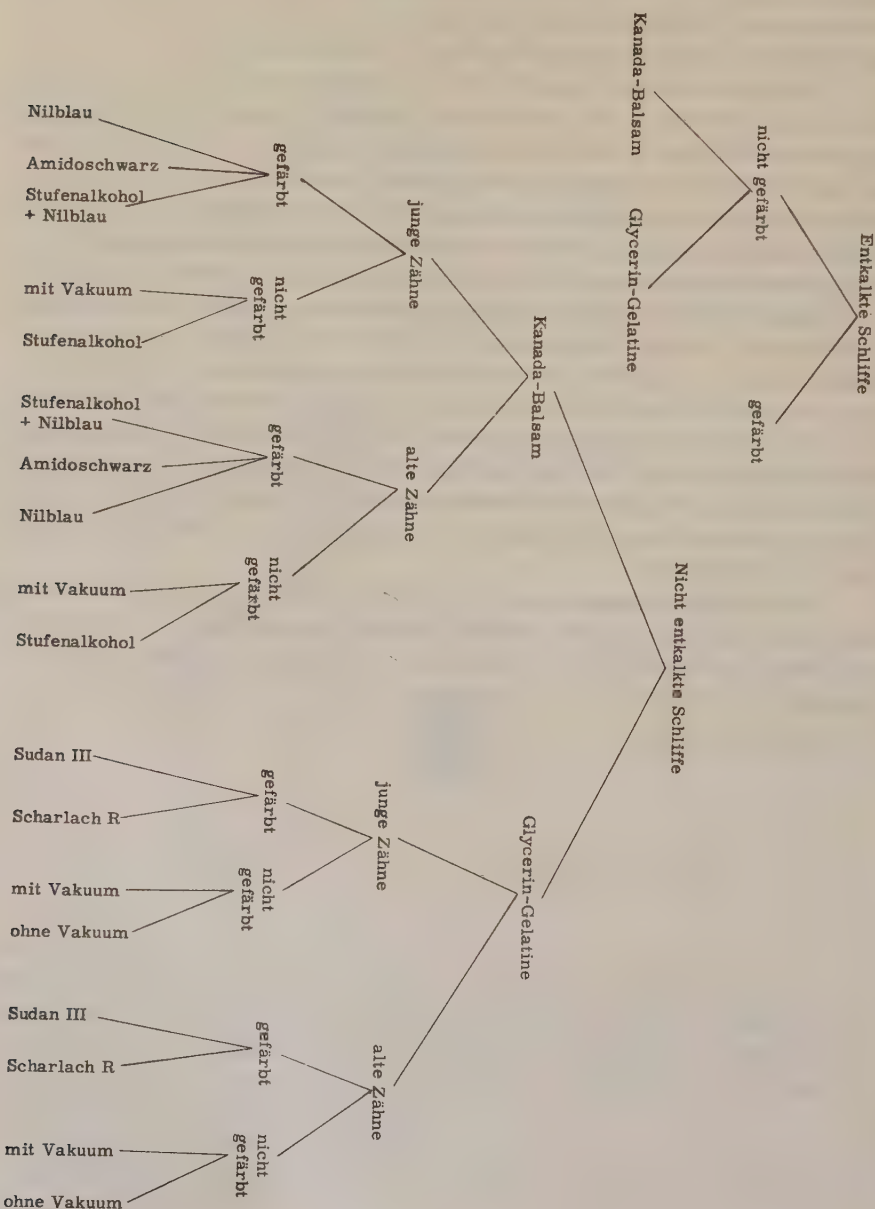
Vergleicht man wiederum die Anfärbung des Dentins einmal mit der reinen Hohlraumfärbung durch Methylviolett mit jener Fett- und Eiweissfärbung, so ist festzustellen, dass die Methylviolettfärbung im einzelnen Kanälchen weiter peripherwärts reicht und zwar bis in unmittelbare Nähe des sich dunkel darstellenden Randstreifens. Es gibt somit zwischen dem pulpenahen Dentin, das eiweiss- und fetthaltig ist und dem genannten Randstreifen eine Zone, die eiweiss- und fettfrei ist, sich wohl aber mit Methylviolett anfüllt (Abb. 9).

Möglicherweise erklärt sich dieses Phänomen auch durch die verschiedene Viskosität und Farbstärke der verwendeten Färbemittel. Denn nachgewiesenermassen nehmen die Lumina der Dentinkanälchen peripherwärts ab, verursacht durch die von der Pulpa zur Peripherie zunehmende Verkalkung des Dentins in der Gebrauchsperiode eines Zahnes. Somit findet der Farbstoff in den peripheren Gebieten nur noch kapillardünne Röhrchen vor. Die Sichtbarkeit der Färbung in den peripheren Abschnitten der Dentinkanälchen hängt auch noch davon ab, ob die Intensität des Farbstoffes ausreicht, in dieser schwachen Verteilung noch als Farbe zu imponieren.

Zum Vergleich herangezogene entkalkte Schliffe zeigen sowohl bei Behandlung mit Nilblau als auch mit Amidoschwarz eine Anfärbung in toto. Es lassen sich keine Dentinkanälchen mehr nachweisen, das ganze Zahnbein erscheint homogen blau gefärbt.

B. MIKROSKOPISCHE BEOBACHTUNGEN

Einer Besprechung der mikroskopischen Beobachtungen sollen zwei Schemata vorausgeschickt werden, die eine Übersicht über die spezielle Behandlung der einzelnen Zahnschliffe enthalten.



Bei der Besprechung der einzelnen Präparate soll nur auf jene Beobachtungen eingegangen werden, die nicht bereits bei der makroskopischen oder Lupenbetrachtung der Schläffe beschrieben worden sind.

1) SCHLÄFFE: entkalkt, nicht gefärbt.

Von kariesfreien Zähnen verschiedener Altersstufen wurden Zahnschläffe hergestellt und diese nachträglich mit 5%iger Salpetersäure entkalkt. Alle Präparate zeichnen sich bei Einbettung in Kanada-Balsam durch ihr homogen transparentes Aussehen im Bereich des Zahnbeins aus. Eine Aufteilung des Dentins in dunkle, graue und hellere Bezirke ist nicht vorhanden. Der gesamte Zahnbeinkörper ist von einer feinen Linierung durchzogen. Diese entspricht dem Verlauf der einzelnen Dentinkanälchen. In der Krone tritt die Linierung deutlicher hervor als im Bereich der Wurzel. Mit Ausnahme der meist vieleckigen, konkav begrenzten Gebilde, die als Interlobulardentin bekannt sind, finden sich im Zahnbein keine Besonderheiten (Abb. 2).

Bei einer Einbettung in Glycerin-Gelatine tritt die durch die Dentinkanälchen bedingte Linierung des Präparates weniger deutlich hervor.

2) SCHLÄFFE: entkalkt, gefärbt.

Eine Färbung der entkalkten Schläffe mittels Haematoxylin-Eosin, Nilblau, Sudan und Amidoschwarz ergibt keine besondere Differenzierung.

3) SCHLÄFFE: nicht entkalkt, ungefärbt.

Die Kanälchenzeichnung tritt bei nicht entkalkten Schläffen wesentlich stärker hervor, als bei nachträglich entkalkten Präparaten. Deutlich unterscheiden sich auch bei stärkerer Vergrößerung die drei bereits makroskopisch diagnostizierten Bezirke: dunkel, grau und hell bzw. transparent sich darstellendes Dentin.

a) Dunkle Dentinbezirke.

Im Bereich der dunklen Bezirke stellen sich die Dentinkanälchen bei mittlerer Vergrößerung als homogene, schwarze Linien dar, deren Dicke dem Lumen der einzelnen Dentinkanälchen entspricht. Bei starker Vergrößerung lösen sich diese homogen schwarzen Linien so auf, dass jedes Kanälchen als eine schwarze Doppellinie erscheint. Es dürfte sich somit um eine Verstärkung der Randzeichnung der Dentinkanälchen handeln. Das Zentrum der Kanälchen erscheint hell und ohne Struktur. Verfolgt man die Dentinkanälchen in ihrer Längsrichtung, so ergibt sich folgendes Bild: Bei einem Teil der Kanälchen lässt sich diese dunkle Zeichnung der Wandung über längere Strecken verfolgen, ohne dass zwischen den beiden das Dentinkanälchen begrenzenden Linien eine Verbindung sichtbar ist. In anderen Fällen erscheinen die Dentinkanälchen gleichsam segmentiert, d. h. die dunklen Linien der Wandung verbinden sich bogenförmig miteinander.

Auf diese Weise entsteht der Eindruck von Blasen. Zwischen den einzelnen Blasen ist die Kanälchenwandung so zu erkennen, wie sie sich im Bereich der später zu beschreibenden grauen Dentinpartien allgemein darstellt. Schliesslich fallen noch Kanälchen auf, die bei schwächerer Vergrösserung wie gekörnt erscheinen. Die stärkere Vergrösserung zeigt auch hier, dass die Kanälchen angefüllt sind von kleinen, unregelmässig begrenzten Gebilden, die im Zentrum einen Hohlraum aufweisen.

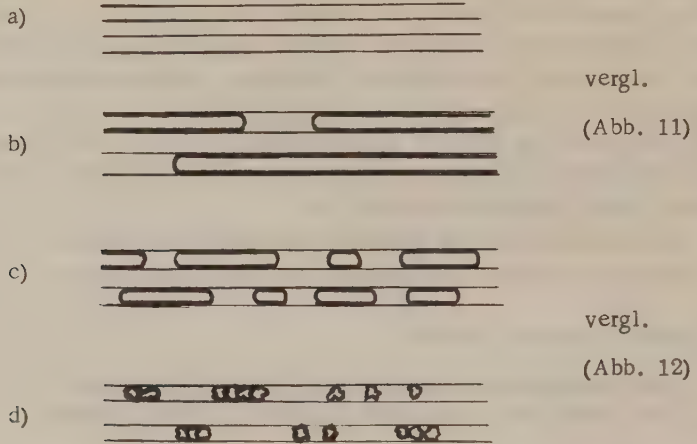


ABBILDUNG 10

Schematische Darstellung der Dentinkanälchen aus dem Bereich der dunklen Dentinpartien'

- a) normales, graues Dentin zum Vergleich
- b) durchlaufende Verstärkung der Kanälchenwandung
- c) Segmentierung der Kanälchen
- d) Körnelung der Kanälchen

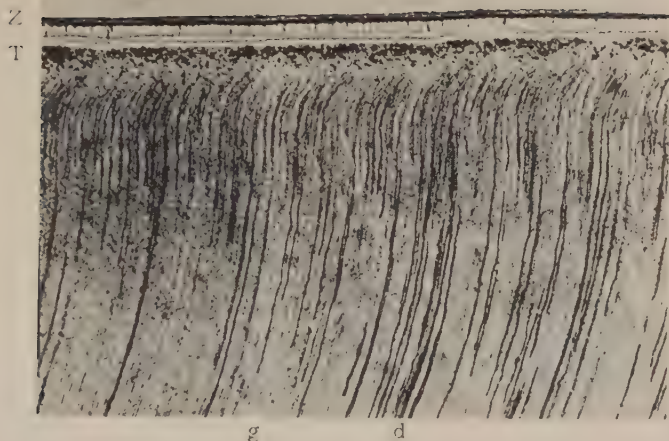


ABBILDUNG 11

Ausschnitt aus dem Dentin im mittleren Wurzelbereich der Abb. 6d linke Hälfte

- Z = fibrilläres Zement
- T = Tomessche Körnerschicht
- d = dunkle Dentinpartien
- g = graue Dentinpartien

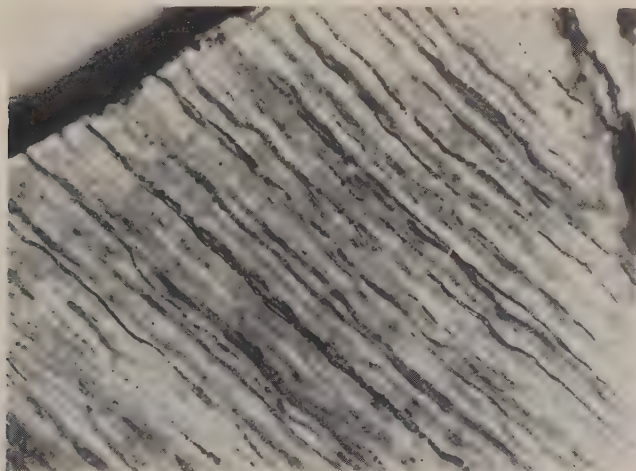


ABBILDUNG 12

Kronendentin unter einer Abrasion. Der Schmelz ist völlig abgekaut. Die Kanälchen enthalten segmentierte und lange polygonalbegrenzte Gebilde.

Alle Präparate zeigen eindeutig, dass die Dunkelfärbung bestimmter Dentinpartien, wie sie beschrieben wurde, bedingt ist durch ein gehäuftes Auftreten von Kanälchen mit starker Wandzeichnung bzw. mit Segmentierung oder Körnelung. Es gibt Dentinpartien, bei denen sämtliche Kanälchen diese Veränderung aufweisen und solche, bei denen nur einzelne Kanälchen dadurch hervortreten. In der Regel finden sich segmentierte und gekörnelte Dentinkanälchen mehr in der Peripherie der dunklen Dentinbezirke, während die Kanälchen der pulpen-näheren Abschnitte die durchlaufende Wandverstärkung zeigen.

b) Graue Dentinbezirke.

In den sich makroskopisch als graue Masse darstellenden Dentinpartien sind die einzelnen Dentinkanälchen bei mittlerer Vergrößerung als schwache Linien zu erkennen. Bei stärkerer Vergrößerung lösen sich diese grauen Striche wiederum in Doppellinien auf. Das Lumen der Kanälchen erscheint hell und strukturlos.

c) Helle, transparente Dentinbezirke.

Bei mittlerer Vergrößerung erscheint das Dentin in diesen Bezirken vollkommen strukturlos. Erst bei stärkerer Vergrößerung und starker Abblendung tritt die ausserordentlich feine Zeichnung der Kanälchen zu Tage.

4) SCHLIFFE: nicht entkalkt, in Vakuum eingebettet, nicht gefärbt.

Bei Schliffen, die unter Vakuum in Kanada-Balsam eingebettet wurden (Beschreibung siehe Seite 26) konnte auch bei stärkerer Vergrößerung kein Unterschied zu den nicht im Vakuum eingebetteten Zähnen beobachtet werden. Dies wird bestätigt durch einen Vergleich von Schliffen, die in Längsrichtung von der Krone zur Wurzel halbiert wurden und von denen der eine Teil im Vakuum, der andere ohne Unterdruck in Kanada-Balsam eingebettet wurden. Die beiden Hälften zeigten die gleiche Verteilung von dunklen, grauen und helleren Dentinpartien. Eine offensichtliche Abnahme der blasigen Gebilde konnte nicht mit Sicherheit beobachtet werden.

5) SCHLIFFE: nicht entkalkt, gefärbt.

Die mikroskopische Untersuchung von Schliffen, die mit Nilblau, Sudan III und Amidoschwarz gefärbt worden waren, zeigt, dass sich fast ausschliesslich die pulpen-nahen Kanälchen anfärben und hier nur jene, die sich bei ungefärbten Präparaten im Bereich der grauen Dentinmasse befinden. Trennt eine Schicht Sekundärdentin das primäre Dentin von der Pulpa, so färben auch die pulpen-nahen Kanälchen sich nicht an. Die Färbung beschränkt sich auf die Lumina der Dentinkanälchen. Die verkalkte Grundsubstanz zeigt keine Färbung. Eine spezielle Anfärbung der Kanälchenlumina im Bereich der dunklen Dentinpartien war nirgends zu beobachten.

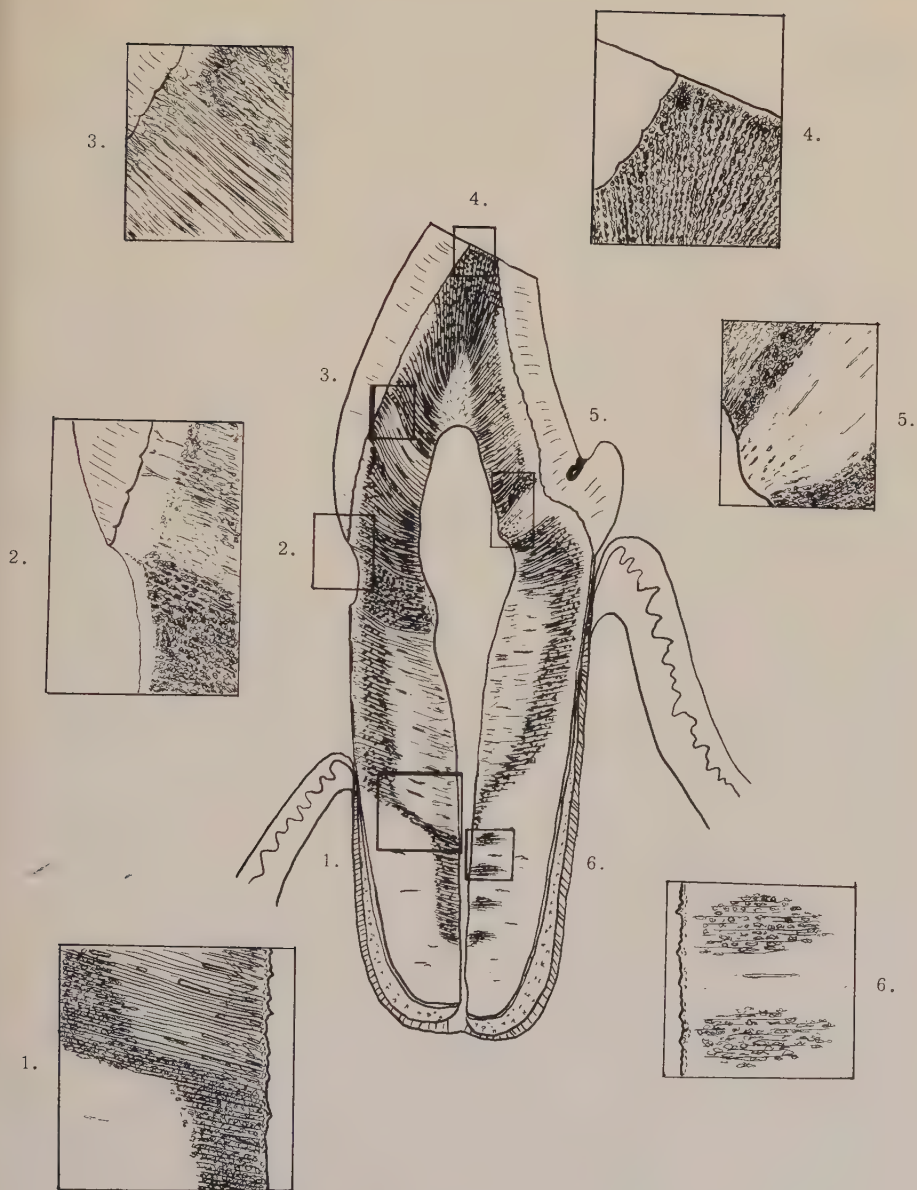


ABBILDUNG 13

SCHEMATISIERTE DARSTELLUNG DER BEOBACHTUNGEN

Erklärungen zu der schematischen Darstellung der Beobachtungen (Abb. 13).

Es handelt sich um den Schliff eines Frontzahnes, dessen labiale Alveolenwand retrahiert ist, der mit einer cervicalen Usur und einer beginnenden Karies im Foramen coecum, sowie einer starken Abrasion der Schneidekante versehen ist. Die Folgen dieser äusseren Einflüsse zeigen sich in den Dentinkanälchen sowohl bei makroskopischer als auch bei mikroskopischer Betrachtung. Die einzelnen charakteristischen Stellen sind als Ausschnitte in stärkerer Vergrößerung, von 1.-6. nummeriert, besonders dargestellt. Dabei gilt für jedes Gebiet folgende Beurteilung der Erscheinungen: Je kürzer und polygonaler die Blasen in den Kanälchen sind, desto intensiver war die Reizwirkung intra vitam auf den Kanälcheninhalt. Es sei noch auf den augenfälligen Unterschied hingewiesen zwischen der labialen und der lingualen Seite des Zahnes. Bei letzterer wird die Stärke der Reizwirkung des hohen Paradentiums durch die progressive Transparenz des Dentins deutlich im Gegensatz zu der schwächeren, wie stehen gebliebenen Veränderungen in den Kanälchen der von den Reizen der Mundhöhle getroffenen labialen Seite.

No. 1. Die Übergangszone vom normalen grauen zum transparenten Dentin. Das sog. "Pulpenwärtswandern des schwarzen Randstreifens". Im Gegensatz zur parodontal gesunden Seite erfolgt dies hier abrupt. Das normale Dentin ist gekennzeichnet durch die wenigen langen glatten Blasen. Mit zunehmender Verkalkung werden die Blasen kürzer und eckiger. Die Gesamterscheinung des Bezirkes wird dunkler. Die Transparenz zeichnet sich durch fast völligen Verlust der Kanälchenzeichnung aus.

No. 2. Die cervicale Usur. Ein relativ schwacher Reiz, der die betroffenen Kanälchen in ihrer ganzen Länge bis zur körnigen Verkalkung gebracht hat und schon zur Anlagerung von Sekundärdentin geführt hat. Inwieweit diese an dem Fehlen der Transparenz in diesem Gebiet ursächlich beteiligt ist, lässt sich nicht sagen.

No. 3. Eine Besonderheit. Mitten im Kronendentin, das in seiner ganzen Masse der körnigen Verkalkung zustrebt, befand sich in einem der untersuchten Schliffe eine relativ "zurückgebliebene" Zone aus normalem grauen Dentin mit langen glatten Blasen und einer, wie bei jungen Zähnen üblich, deutlichen Zone der Verästelungen zum Schmelz hin. Man sieht den optischen Unterschied zwischen den normalen Kanälchen, links unten, und den verkalkenden, rechts oben.

No. 4. Die Abrasion. In ganzer Breite und Länge sind die Kanälchen von kurzen polygonalen Gebilden ausgefüllt. Auch hier wieder, wie bei No. 2. der Sekundärdentinabschluss zur Pulpa hin und das Fehlen der Transparenz.

No. 5. Die Karies. Im Gegensatz zum mechanischen Reiz der Usur und der Abrasion ein relativ starker Reiz. Die Kanälchen sind bereits bis zur transparenten

Verkalkung verändert. Die Nachbarschaft zeigt in ihren Kanälchen parallel zur Abnahme der Reizwirkung mit zunehmender Entfernung weniger starke Verkalkung, was durch den Übergang von kurzen polygonal begrenzten Gebilden in zunehmend längere und glatte Blasen ersichtlich ist.

No. 6. Die Reste der Kanälchen im transparenten Dentin. Sie sind nur noch an den kurzen polygonalen Gebilden zu erkennen und zeigen sich bei einem Teil der Zähne als relativ abgeschlossene streifenförmige Gebiete in ziemlich gleichmäßigem Abstand von einander.

IV. DISKUSSION DER ERGEBNISSE.

Einer kritischen Betrachtung sollen, der besseren Übersicht halber, noch einmal kurz die Ergebnisse der Untersuchungen vorangestellt werden:

Im Gegensatz zu nachträglich entkalkten Dünnschliffen treten in den nicht entkalkten Schliffen unterschiedlich sich darstellende optische Inhomogenitäten im Bereich des Dentins auf. Schon makroskopisch lassen sich beim eingebetteten Schliff im Zahnbein dunkle, graue und hellere Partien differenzieren. Bei Zähnen, die noch nicht in Funktion gestanden haben, zeigt sich eine derartige optische Inhomogenität des Dentins nicht. Am ausgeprägtesten ist sie bei abradierten Zähnen älterer Patienten.

Der Vergleich von Präparaten, die von Zähnen aus verschiedenen Altersstufen stammen, zeigt deutlich, dass die optische Inhomogenität im Laufe der Funktion des Zahnes zunimmt. Es lassen sich gewisse Gesetzmässigkeiten bei der Verteilung der dunklen, grauen und helleren Partien im Zahnbein erkennen. So nehmen die helleren, transparenten Bezirke ihren Ausgangspunkt in der Regel von der Wurzelspitze und dehnen sich mit zunehmendem Alter des Zahnes mehr und mehr in Richtung des Zahnhalses aus. Die dunklen Partien befinden sich vor allem in der Zahnkrone und im gingivalen Teil der Wurzel. Charakteristisch ist im Bereich der Wurzel das sog. "Pulpenwärtswandern" der dunkleren Partien. Apikalwärts schliesst sich das hellere, transparente Dentin an. Bei älteren Patienten erstreckt es sich von der Wurzelspitze bis zur Hälfte der Wurzel. Die Hauptmasse des Zahnes nimmt das sich grau darstellende Dentin ein, dessen Ausmass jedoch mit zunehmendem Alter der Zähne immer mehr abnimmt.

Wenngleich die damit aufgezeigte Entwicklung und Veränderung der dunklen, grauen und helleren Bezirke bereits darauf schliessen lässt, dass es sich um unter dem Einfluss der Funktion sich abspielende intravitale Vorgänge handelt, wurde dennoch durch spezielle Behandlung der Präparate untersucht, ob diese Inhomogenität in irgend einer Weise mit der Behandlung der Zähne nach der Ex-traktion zusammenhängt. Dabei konnten folgende Feststellungen getroffen werden:

- 1) Die übliche Fixierung der Zähne in 10%igem Formalin hat keinen Einfluss auf die optische Inhomogenität der Schliffe.

- 2) Auch der Schleifprozess scheint die genannten Phänomene nicht zu verändern.
- 3) Durch eine Einbettung in Kanada-Balsam erfolgt eine gewisse Aufhellung der dunkleren Zahnbeinpartien.
- 4) Die Einbettung im Vakuum verändert die Schliffe nicht.
- 5) Bei Färbung mit Methylviolett färben sich jugendliche Zähne homogen an, während Zähne älterer Menschen im Bereich der dunklen Dentinpartien und dort, wo Sekundärdentin primäres Dentin und Pulpa trennt, keine Färbung zeigen.
- 6) Durch Behandlung der Schliffe im Stufenalkohol erscheinen die pulpennahen Dentinpartien aufgehellt.
- 7) Nilblau und Amidoschwarz färben die sich grau darstellenden Dentinpartien in ihrem pulpennahen Anteil.
- 8) Bei einem Vergleich zwischen der Eiweissfärbung und der Fettfärbung fällt auf, dass sich die pulpennahen Dentinkanälchen mit beiden Farbstoffen anfärben; die Eiweissfärbung reicht peripherwärts etwas weiter als die Fettfärbung.

Bei Betrachtung der Schliffe mit stärkerer Vergrößerung liessen sich folgende Feststellungen treffen:

- 1) Im Bereich der dunklen Zahnbeinpartien ist die Randzeichnung der einzelnen Dentinkanälchen verstärkt. Die Kanalwandung erscheint verbreitert und imponiert als deutliche schwarze Linie. Diese Randverstärkung kann entweder über längere Strecken verfolgt werden, oder die Kanälchen erscheinen segmentiert bzw. gekömet. Immer ist jedoch bei starker Vergrößerung ein strukturloses, helles Lumen zu erkennen.
- 2) Im Bereich der grauen Dentinzonen zeigen sich die Kanälchen als schwache Doppellinien mit hellem Zentrum.
- 3) Im Bereich des hellen, transparenten Dentins sind die Dentinkanälchen nur bei starker Abblendung als dünne, schwache Doppellinien zu erkennen.
- 4) Bei Färbung mit Nilblau, Sudan III oder Amidoschwarz färbt sich nur die graue Dentinmasse unterschiedlich an.

Im Folgenden sollen nun drei Fragen kritisch betrachtet werden:

- 1) Sind die beschriebenen optischen Inhomogenitäten Kunstprodukte oder postmortale Erscheinungen?
- 2) Wovon hängt die Entwicklung der optischen Inhomogenitäten ab?
- 3) Welche Hinweise geben die durchgeführten Untersuchungen auf die Deutung der optischen Inhomogenitäten im Dentin der Zahnschliffe?

ad 1)

Aus den Untersuchungen kann mit grosser Wahrscheinlichkeit geschlossen werden, dass es sich bei den in Dünnschliffen zu beobachtenden optischen Inhomogenitäten des Zahnbeins, die dunklere, graue und transparente Dentinpartien unterscheiden lassen, weder um ein durch die histologische Verarbeitung entstandenes Kunstpro-

dukt, noch um eine postmortale Veränderung handelt. Als Beweise für diese Behauptung können angeführt werden:

- a) Zähne, die noch nie in Funktion gestanden haben, weisen solche Inhomogenitäten des Zahnbeins nicht auf (Abb. 6).
- b) Die Untersuchung von 120 Zahnschliffen, die von Menschen der verschiedensten Altersstufen stammen, lassen eine gewisse Regelmässigkeit der Entwicklung in der Verteilung der drei sich optisch verschieden darstellenden Dentinpartien feststellen.
- c) Die Betrachtung frisch extrahierter Zähne im durchfallenden Licht lässt bereits Hinweise auf die optische Inhomogenität der Dünnschliffe zu. Sowohl in Abb. 7b wie 8b lässt sich im Bereich der Wurzel der Verlauf der Grenze zwischen im Schliff dunklem Zahnbein und transparentem Dentin verfolgen.
- d) Schliesslich zeigen verschiedene histologische Verarbeitungstechniken wie die Betrachtung in Luft, die Einbettung in Kanada-Balsam oder Glycerin-Gelatine, die Vakuumeinbettung, die Fixierung der Zähne über 4 Wochen in Formalin, sowie Modifikationen der Schleiftechnik bei der Herstellung der Dünnschliffe keine wesentliche Beeinflussung von dunklen, grauen und transparenten Dentinpartien.

ad 2)

Eindeutig ist, dass mit der Zeitdauer der Funktion des Zahnes das transparente Dentin auf Kosten des grauen Zahnbeins zunimmt. Diese Veränderung ist nicht abhängig vom Alter des Zahnes, sondern allein von seiner Funktion. Zeigen doch auch verlagerte Eckzähne älterer Patienten keine optischen Inhomogenitäten im Dünnschliff.

ad 3)

Spezielle Untersuchungen über die Deutung der optischen Differenzierung des Dentins in Dünnschliffen lagen bisher nicht vor. Wohl haben sich viele Autoren, wie in der einleitenden Literaturübersicht angegeben, mit den morphologisch sichtbaren regressiven Veränderungen im Dentin befasst. Ausgangspunkt dieser Untersuchungen wären in der Mehrzahl die im Zahnbein unter der Karies zu beobachtenden Veränderungen. Nach FURRER reagiert das Zahnbein auf den Angriff der Karies durch die Ausbildung der sog. Zone der Transparenz, der körnigen Verkalkung und der Verfettung. Die Zone der Transparenz stellt gleichsam einen schützenden Kalkwall gegen die angreifenden Noxen dar. Sie liegt in unmittelbarer Nachbarschaft des Kariesherdes. Die Verfettung dagegen stellt eine der Verkalkung vorausgehende Stoffwechselstörung im Dentin dar und liegt deshalb der Pulpa am nächsten. Die Transparenz ist im Schliffpräparat charakterisiert durch ihr homogenes Aussehen. Die Kanälchenstruktur ist kaum mehr zu erkennen. Das Bild dieser Zone entspricht dem transparenten Dentin, wie es an der Wurzelspitze kariesfreier Zähne beschrieben wurde. Bei der Karies ist dieser transparente Bezirk regelmässig umgeben von einer dunkel gefärbten Dentinzone. Letzteres entspricht sowohl bei makroskopischer als auch mikroskopischer Betrachtung vollkommen den bei kariesfreien

Zähnen beschriebenen dunklen Dentinpartien. Es liegt somit der Schluss nahe, dass es sich in beiden Fällen, bei der Karies und bei der Ausbildung dunkler Zahnbeinbezirke unter dem Einfluss der Funktion, um dieselben Phänomene handelt. Für das Auftreten der im Schliff dunklen Dentinzonen in der Umgebung kariöser Herde ist bis heute noch keine definitive Erklärung gefunden worden. Überträgt man die an Schnitten gefundenen Tatsachen auf die Schliffe, so könnte es sich um eine Zone der Verfettung handeln. EULER und MEYER erscheint es jedoch fraglich, ob bei der Karies die Reihenfolge Verfettung - Verkalkung immer eingehalten wird. Andere Autoren sprechen von Lufteinschlüssen, die die Dunkelfärbung des Dentins in der Umgebung des Kariesherdes bedingen soll. EULER und MEYER weisen auf sog. "Täuschungsbilder hin, die beim Studium der Zahnkaries zur Beobachtung gelangen. Es kann der Eindruck des transparenten Dentins dadurch hervorgerufen werden, dass eine Flüssigkeit (Öl) in die lufthaltigen Kanälchen gebracht wird. Andererseits entsteht der Eindruck des im Schliff dunklen Dentins durch eingeschlossene Luftblasen. Mit den pathologischen Zuständen der Dentinfaser aber haben solche Bilder die z. T. als 'Blitzfiguren' bezeichnet werden, nichts zu tun."

Die durchgeführten Untersuchungen mit Fettfärbung haben nun einwandfrei ergeben, dass es sich im Falle der kariesfreien Zähne bei den dunklen Dentinpartien nicht um eine Verfettung der Kanälchen handelt. Wohl haben sich Teile der grauen Dentinmasse deutlich angefärbt, niemals aber die dunklen Dentinpartien. Die Nilblaufärbungen bestätigen die Angaben von WEBER, nach dessen Ansicht sich Fett in den Odontoblastenfortsätzen in fast allen Fällen im pulpennahen Dentin findet, während die peripheren Kanälchenanteile fettfrei sind.

Um die Frage der eventuellen Luftblasen in den Dentinkanälchen zu beleuchten, wurden die Versuche mit der Vakuumeinbettung durchgeführt. Sie zeigten kein eindeutiges Ergebnis. Dagegen kann eingewendet werden, dass der erzielte Unterdruck nicht ausreicht, um die Lufteinschlüsse in den engen Kanälchen in der Peripherie zum Entweichen zu bringen. Andererseits haben aber dieselben Versuche auch gezeigt, dass im Bereich der Wurzel dunkle Dentinpartien in unmittelbarer Wurzelkanalnähe trotz Vakuumeinbettung bestehen blieben. Dort ist die Weite der Dentinkanälchen relativ gross, so dass Lufteinschlüsse entweichen könnten. Es ist allerdings nicht ersichtlich, wie unter der Funktion Lufteinschlüsse stattfinden sollten. Zwar würde die Aufhellung der dunklen Dentinpartien durch die Einbettung in Kanada-Balsam gegenüber der Einbettung in Glycerin-Gelatine für die Theorie der Luftblasen sprechen. Kanada-Balsam ist dünnflüssiger als Glycerin-Gelatine und könnte daher die Luft leichter verdrängen.

Nicht übersehen werden darf die Tatsache, dass doch eine gewisse Reihenfolge in der Ausbildung der dunklen, grauen und transparenten Dentinpartien unter dem Einfluss der Funktion festzustellen ist. Die noch nicht in Funktion stehenden Zähne weisen gleichmässig graues Zahnbein im Schliff auf. Unter dem Einfluss der Funktion bilden sich ausgehend von der Peripherie auf Kosten der grauen Substanz dunkle Dentinpartien, d. h. es tritt bei immer mehr Kanälchen die verstärkte Rand-

zeichnung auf. Die Weiterentwicklung setzt primär in der Wurzel ein, wo die anfangs peripher gelegenen dunklen Dentinpartien pulpenwärts wandern und dem transparenten Dentin Platz machen. Diese Transparenz ist nach den Untersuchungen von EULER, MEYER und GUSTAFSON durch eine zunehmende Verkalkung des Dentins bedingt. Damit drängt sich die Vorstellung auf, dass die dunklen Dentinpartien eine Vorstufe des transparenten Dentins darstellen. Unterstützt wird diese Hypothese durch die Fett- und Eiweissfärbungen, wie auch durch die unspezifische Färbung mit Methylviolett. In den pulpen nahen Dentinkanälchen herrschen Fett und Eiweiss vor. Dann folgt eine Zone, die nur durch das Vorhandensein von Eiweiss charakterisiert ist. Peripher schliesst sich eine schmale Zone an, die sich weder mit Nilblau, noch mit Amidoschwarz, wohl aber mit Methylviolett angefärbt hat (Abb. 9). Erst darauf folgt peripher das dunkle Dentin, das in keinem Fall eine Färbung angenommen hat.

Auf Grund der durchgeführten Untersuchungen und des Literaturstudiums gewinnt die Hypothese an Wahrscheinlichkeit, dass es sich bei den dunklen Dentinpartien um den optischen Ausdruck von regressiven Veränderungen im Dentin handelt. Solche Veränderungen wurden von HÄUPL als regressive Metamorphose und von REBEL als Biomorphose des Zahnbeins beschrieben. HÄUPL fand als Ausdruck dieser physiologischen Prozesse die trübe Schwellung, die Verfettung und die Verkalkung. Das Auftreten der trüben Schwellung ist umstritten. Niemals kann sie in Schliffen beobachtet werden. Die Verfettung als Erklärung für die dunklen Dentinpartien scheidet nach den vorliegenden Untersuchungen aus. Die Entwicklung führt vom grauen Dentin über das sich im Schliff dunkel darstellende Dentin zum transparenten Dentin. Transparentes Dentin aber ist charakterisiert durch den stärksten Grad der Verkalkung. Somit erscheint die Annahme berechtigt, dass es sich bei den dunklen Zahnpartien um das optische Erscheinungsbild einer Zone im Schliff handelt, die der maximalen Verkalkung vorausgeht und damit um ein Stadium der regressiven Veränderungen des Dentins, über das an Hand der durchgeführten Untersuchungen nur folgendes ausgesagt werden kann:

- 1) Es ist anzunehmen, dass es sich bei den dunklen Dentinpartien um eine optische Erscheinung handelt, die durch regressive Veränderungen im Zahnbein hervorgerufen wird.
- 2) Es handelt sich nicht um eine Zone der Verfettung.
- 3) Die Dunkelfärbung ist nicht durch eine Ansammlung von Eiweiss bedingt.

Aufgrund des Literaturstudiums und der durchgeführten Untersuchungen darf folgende Annahme zur Diskussion gestellt werden:

Unter dem Einfluss der Funktion spielen sich in den Dentinkanälchen regressive Veränderungen ab, als deren Endstadium das Zugrundegehen der Tomesschen Faser und die vollständige Verkalkung des Kanälchens zu bezeichnen ist. Dieser Zustand ist in den transparenten Zahnbeinpartien der Wurzel, wie auch der Krone erreicht. Pulpenwärts von diesem transparenten Dentin finden sich jene beschriebenen, im Schliff dunkel erscheinenden Zahnbeinpartien. In ihrem Bereich lassen sich bei star-

ker Vergrößerung drei Zonen unterscheiden. Unmittelbar dem transparenten Dentin folgt pulpenwärts eine Zone, in der polygonal begrenzte Gebilde die Kanälchen charakterisieren. Es folgt eine zweite Zone mit glatt begrenzten, kurzen, blasenförmigen Gebilden, wobei die Wandung der Blasen gleichzeitig die Begrenzung des einzelnen Dentinkanälchens darstellt. Weiter pulpenwärts finden sich in den Kanälchen lange, glattbegrenzte blasenförmige Gebilde. Für die zweite und dritte Zone liegt die Annahme, dass es sich bei der optischen Erscheinung um Luftblasen handelt, nahe. Ein Eindringen von Luft könnte jedoch nur beim Schleifprozess erfolgen. Bei der Vakuumeinbettung müssten diese Luftblasen wenigstens teilweise wieder entweichen. Dies ist nicht der Fall. BODEČEKER (6) nimmt an, dass es sich um sog. Lymphgasblasen handelt. Die polygonale Begrenzung der ursprünglich glatt begrenzten Gebilde in den Kanälchen, wie sie für die nahe dem transparenten Dentin gelegene Zone charakteristisch ist, halte ich für einen Ausdruck der zunehmenden Verkalkung. Diese erfolgt in Form von osteophytenähnlichen Kalksprossen von der Kanalwandung aus. Die elektronen-mikroskopischen Aufnahmen von HELMKE (15) unterstützen diese Auffassung. Diese Kalksprossen ragen in das Lumen des Dentinkanälchens hinein und bedingen die unregelmässige Begrenzung der ursprünglich blasigen Gebilde.

Die Verkalkung breitet sich von der Peripherie her aus und lässt drei Stadien erkennen:

- a) den Bereich des Zerfalls des Odontoblastenfortsatzes, als dessen Ausdruck wir im Schliff die glatt begrenzten blasigen Gebilde in den Kanälchen erkennen;
- b) den Bereich der polygonalen Verengung der Kanälchenlumina und
- c) die vollständige Verkalkung im Bereich des transparenten Dentins.

Verlagerte Zähne, gleichgültig welchen Alters, zeigen fett- und eiweisshaltige Dentinkanälchen bis zur Peripherie. Jugendliche Zähne, die bereits in Funktion gestanden haben, lassen die ersten Anzeichen von regressiven Veränderungen erkennen. Die peripheren Anteile der Dentinkanälchen reagieren auf Fett- und Eiweissfärbung negativ. Zähne der Gebrauchsperiode schliesslich zeigen mit zunehmendem Alter eine zunehmende, pulpenwärts verlaufende Verkürzung der fett- und eiweisshaltigen Dentinkanälchenanteile. Im Bereich der Wurzel sind diese Prozesse regelmässig weiter pulpenwärts fortgeschritten als in der Krone. Im Schliff erscheinen die fett- und eiweisshaltigen Dentinpartien grau, die Zone der regressiven Veränderungen dunkel und das vollständig verkalkte Dentin hell, transparent.

Die im Bereich der im Schliff dunkel erscheinenden Dentinpartien auftretenden blasigen Gebilde in ihrer jeweils verschiedenen Form stellen somit genau wie die Transparenz und die Färbbarkeit der Kanälchen mit Fett- und Eiweissfärbungen einen Indikator für den Zustand der Dentinkanälchen dar.

V. ZUSAMMENFASSUNG

Ausgangspunkt der vorliegenden Erörterungen und Untersuchungen war die in Zahnschliffen zu beobachtende optische Inhomogenität des Dentins. Im Gegensatz zu den homogen erscheinenden Schnitten entkalkter Zähne lassen sich in nicht entkalkten Schliffen Bezirke grauen, dunklen und transparenten Zahnbeins unterscheiden.

Der Arbeit liegen Dünnschliffe von 120 kariesfreien Zähnen zugrunde. In der Mehrzahl handelt es sich dabei um Zähne der normalen Gebrauchsperiode. Daneben konnten auch solche Zähne verarbeitet werden, die bei jugendlichen Patienten aus kieferorthopädischen Gründen entfernt wurden und erst wenige Monate bzw. Jahre in Funktion gestanden haben und schliesslich impaktierte Eckzähne und Weisheitszähne, die operativ entfernt werden mussten. Der Vergleich der gewonnenen Präparate hat nun eine Entwicklung in der Verteilung von grauen, dunklen und transparenten Dentinpartien im Laufe der Funktion erkennen lassen. Die impaktierten Zähne zeigten, gleichgültig ob sie von Jugendlichen oder etwas älteren Menschen stammten, keine optische Inhomogenität des Dentins. Das Zahnbein stellte sich in den Schliffen durchwegs als graue Masse dar. Dieser graue Eindruck entsteht durch die Zeichnung der Dentinkanälchenwand mit fett- und eiweisshaltiger Kanälchenfüllung. Beginnend an der Krone und zwar an den Höckerspitzen und Schneidekanten tritt bei jugendlichen Zähnen das sog. dunkle Dentin auf. Diese Dunkelfärbung wird hervorgerufen durch das stärkere Hervortreten der Kanälchenwandung. Bei stärkerer Vergrösserung lassen sich drei verschiedene Zonen im Bereich der dunklen Zahnbeinpartien unterscheiden: Kanälchen mit durchgehend stärkerem Hervortreten der Wandung, Kanälchen, bei denen sich diese verstärkte Wandzeichnung in Abständen bogenförmig miteinander verbindet, so dass der Eindruck einer Segmentierung oder der Blasenbildung entsteht und schliesslich gekörnt aussehende Kanälchen, die von unregelmässig begrenzten Gebilden angefüllt erscheinen. Das Zentrum der Blasen oder Körner erscheint immer leer. In der Regel liegt das gekörnte Dentin in der Peripherie in direkter Nachbarschaft zum transparenten Dentin, pulpenwärts gefolgt von dem segmentierten Zahnbein und von den Kanälchen mit durchgehender verstärkter Wandzeichnung.

Diese dunklen Dentinpartien breiten sich mit zunehmender Funktion in Richtung Wurzel aus. Sie liegen primär immer nahe der Dentin-Schmelz bzw. Dentin-zementgrenze. Bei älteren Zähnen ist regelmässig ein "Pulpenwärtswandern" der dunklen Zahnbeinpartien, beginnend an der Wurzelspitze festzustellen. Mit scharfem Knick setzen sich die dunklen Partien dann von der Dentin-Zementgrenze ab, ziehen zum wurzelkanalnahen Zahnbein und lassen sich hier apexwärts ein Stück verfolgen. Peripher von den dunklen Dentinpartien im Bereich der Wurzel bildet sich das transparente Dentin aus. Es erscheint hell, durchsichtig und lässt nur mehr bei starker Abblendung die Kanälchenstruktur erkennen. Diese Erscheinungen konnten nicht nur an den Schliffen, sondern auch an den intakten Zähnen bei Betrachtung

tung im durchfallenden Licht beobachtet werden.

Wenngleich die aufgezeigte Entwicklung der Verteilung der grauen, dunklen und transparenten Bezirke, sowie die Tatsache, dass die Differenzierung auch bei durchfallendem Licht am nicht bearbeiteten Zahn feststellbar war, bereits darauf schliessen lässt, dass es sich um den optischen Ausdruck von unter dem Einfluss der Funktion sich abspielenden intravitalen Vorgängen handelt, wurde dennoch durch spezielle Behandlung der Präparate untersucht, ob diese Veränderung in irgendeiner Weise mit der Behandlung der Zähne nach der Extraktion zusammenhängt. Die Verarbeitung nicht fixierter Zähne hat gezeigt, dass 10%iges Formalin keinen Einfluss auf die genannten Phänomene ausübt. Der Schleifprozess bei verschiedenen Tourenzahlen mit oder ohne Kühlung durch Wasser verändert die Differenzierung nicht. Durch Einbettung der Präparate in Kanada-Balsam erfolgt eine gewisse Aufhellung der dunklen Dentinzonen. Eine Einbettung unter Vakuum zeigt keinen Einfluss. Zur Darstellung des Fettes in Schliffen hat sich die Nilblaufärbung besser geeignet als Färbungen mit Sudan III, Scharlachrot oder Osmium. Ein Vergleich der Fettfärbungen mit Nilblau, der Eiweissfärbungen mit Amidoschwarz und einer unspezifischen Färbung mit Methylviolett zeigt, dass sich die pulpenahen Dentinkanälchen, soweit sie nicht durch Sekundärdentin von der Pulpa getrennt sind, sowohl mit Nilblau, als auch mit Amidoschwarz anfärben. Die Eiweissfärbung reicht peripher etwas über die Fettfärbung hinaus. Noch weiter peripher dringt Methylviolett ein. In jedem Fall haben sich jedoch nur die grauen Dentinbezirke und niemals dunkle Zahnbeinpartien angefärbt.

Auf Grund der durchgeführten Untersuchungen drängen sich folgende Schlüsse auf:

- 1) Die beschriebenen optischen Inhomogenitäten in Dünnschliffen stellen keine durch die histologische Technik bedingten Kunstprodukte dar.
- 2) Sie haben ihre Ursache in intravitalen Veränderungen im Bereich des Zahnbeins.
- 3) Die Ausdehnung der dunklen und transparenten Dentinbezirke geschieht unter dem Einfluss der Funktion.
- 4) Dunkle Dentinbezirke stellen keine Zone der Verfettung dar.
- 5) Sie sind nicht durch eine Ansammlung von Eiweiss hervorgerufen.
- 6) Es ist anzunehmen, dass es sich bei den dunklen Dentinpartien um eine optische Erscheinung handelt, die durch regressive Veränderungen, wie sie der maximalen Verkalkung des Zahnbeins im Bereich des transparenten Dentins vorausgeht, bedingt ist.

LITERATURVERZEICHNIS

1. K. HÄUPL Grundriss der Histopathologie des Zahnes und
seines Stützapparates
2. H. EULER u. W. MEYER Pathohistologie der Zähne
Verlag Bergmann München 1927
3. J. SCHEFF Handbuch der Zahnheilkunde 1924
4. C. JUNG "Gesamtbild der Karies" aus Handbuch der Zahn-
heilkunde 1924
5. E.W. FISH "Dead Tracts In Dentine" aus Fortschritte der Zahn-
heilkunde Band VI/2
6. C.F. BODECKER "Widerstandsfähigkeit des Zahnes"
New York Dental Journal 3/1960
7. G. GUSTAFSON "Age Determination On Teeth" aus DZMK in Vor-
trägen Heft 8 Verlag C. Hanser München
8. H. EULER "Das Altern des menschlichen Zahnsystems"
Deutsche Zahnärztliche Wochenschrift 43, S. 393
9. W. MEYER Lehrbuch der normalen Histologie und Entwicklungs-
geschichte der Zähne des Menschen
10. R. WEBER "Das Auftreten von Fett am Zahn" aus Vierteljahres-
schrift für Zahnheilkunde 1926
11. C. KRÜGER "Kalk und Fett in den Dentinkanälchen" aus DZMK
Bd. 17 1952/1
12. G. FISCHER "Zur Biologie des Dentins" Stoma 5 Heft 3
S. 131 1952
13. H.H. REBEL "Biomorphose der Pulpa" aus DZZ
14. W. PILZ Beiträge zur Biomorphose der Zahnhartgewebe
I. Über Altersveränderungen organischer Schmelz-
und Dentinanteile während der Funktionsperiode
DZMK Bd. 30 1959 Heft 9 u. 10
15. HELMKE Atlas des menschlichen Zahnes
Transmare Photo Berlin 1958

LEBENS LAUF

Am 2. Februar 1927 wurde ich als Sohn des Bauingenieurs Fritz Azeroth und seiner Frau Hildegard in Cloonlara County Clare Irland geboren. Von 1933 bis 1937 besuchte ich die Volksschule in Berlin-Pankow und bis 1944 die Oberrealschule ebenda. Nach der Rückkehr aus der Gefangenschaft machte ich das Abitur an der Lessing-Oberschule in Berlin-Wedding im Jahre 1949. In München begann ich 1950 mit der Ausbildung als Dentisten-Praktikant, machte 1953 meine Dentisten-Assistenten-Prüfung und immatrikulierte 1954 an der Ludwig-Maximilians Universität in München zum Studium der Zahnheilkunde. Nach dem Wintersemester 1956 legte ich die zahnärztliche Vorprüfung an der Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten der Universität München ab. Im Sommersemester 1959 nach bestandenem Staatsexamen begann ich im September 1959 mit der praktischen Tätigkeit als Pflichtassistent bei Herrn Dr. M. Pichlmeier in Wertingen/Schwaben, wo ich mich z. Zt. noch befinde.

